



Análise de um Sistema de Aquecimento Urbano no Campus do Instituto Politécnico de Bragança

PAULA VERÔNICA REMOR

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para
obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

Orientada por

João Azevedo

Manuel Feliciano

Rafael Arioli

Bragança

2017

Análise de um Sistema de Aquecimento Urbano no Campus do Instituto Politécnico de Bragança

Paula Verônica Remor

Orientada por

João Azevedo

Manuel Feliciano

Rafael Arioli

Bragança, 2017

AGRADECIMENTOS

Um especial agradecimento aos meus orientadores do IPB, Professor Doutor João Azevedo e Professor Doutor Manuel Feliciano, por toda a dedicação e ajuda prestada e também as oportunidades proporcionadas. Ao meu orientador da UTFPR, Professor Doutor Rafael Arioli por todo apoio prestado.

Também, aos professores Doutor Laercio Frare e Thiago Edwiges pelas oportunidades e aprendizado que me proporcionaram.

Queria agradecer também as duas instituições que proporcionaram minha Dupla Diplomação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Instituto Politécnico de Bragança, esta foi melhor oportunidade acadêmica que eu poderia ter.

Aos meus pais, Clóvis e Edilma, e minha irmã Gabriela, por todo o amor, incentivo e apoio, que mesmo longe continuaram sempre me ajudando, eu amo vocês!

Por fim, gostaria de agradecer aos meus amigos que ficaram no Brasil apoiando-me, especialmente Patricia Marmentini, Flávia Miyamoto, Juan Pablo Frota, Monica Cristina e todos que direta ou indiretamente ajudaram-me de alguma forma, também aos meus colegas de casa em Portugal, Aline Cavalli, Leonardo Furst e Mateus Pituco que realmente se tornaram uma segunda família e aos amigos que fiz em Portugal, Thadeu Brito, Gabriella Ornelas, Fabiana Hoffmann, Natália Fereguetti, Leonardo Calió, Gabriel Araújo, Ricardo Hoffstaeter e todos que de alguma maneira também contribuíram.

A todos o meu Muito Obrigada!

RESUMO

O aumento das preocupações ambientais decorrentes da evolução crescente das emissões de Gases de Efeito Estufa associadas ao uso de combustíveis fósseis, tem contribuído para a expansão na Europa e na América do Norte do Aquecimento Urbano (*District Heating*). Este sistema possibilita o aquecimento de um conjunto de edifícios a partir de uma única central de aquecimento.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a possibilidade de converter o atual sistema de aquecimento do ar ambiente dos vários edifícios do Campus do Instituto Politécnico de Bragança, em Portugal, num sistema de Aquecimento Urbano alimentado a biomassa florestal na forma de *pellets*. Procurou-se avaliar também a possibilidade de usar um sistema de cogeração, como forma de aumentar a eficiência de produção energética da central. Para tal, recorreu-se ao *software* RETScreen para modelar o sistema atual de aquecimento do Campus assim como para construir modelos de sistemas de aquecimento alternativos com os quais foi posteriormente comparado em termos energéticos, ambientais e de custos de combustível.

Os resultados indicam que um sistema de aquecimento urbano utilizando biomassa como combustível é uma alternativa com benefícios a nível das emissões de Gases de Efeito Estufa e em termos de custos com combustível, em particular quando baseada em sistemas de cogeração. Assim sendo, a conversão do sistema atual do IPB a gás natural num sistema de aquecimento urbano com cogeração e utilização de biomassa deve ser equacionada como uma solução viável num futuro próximo.

PALAVRAS-CHAVE

District Heating; biomassa; RETScreen; emissões de GEE; bioenergia; Cogeração; energia renovável

ABSTRACT

Increasing environmental awareness regarding greenhouse gas emissions associated with the use of fossil fuels has contributed to the expansion of District Heating in Europe and North America. This system allows the simultaneous heating of a group of buildings from a single heating plant. In this way, the present work had the objective of evaluating the possibility of converting the current system of ambient air heating of the various buildings of the Campus of the Polytechnic Institute of Bragança, Portugal, in an Urban Heating system fed by forest biomass in the form of pellets. Also, this work aimed to test the use of cogeneration systems fired by biomass, with the simultaneous generation of heat and electricity, increasing the efficiency of production. RETScreen software was used to model the current campus heating system as well as to construct models of alternative heating systems with which it was later compared in terms of emissions and cost of fuel. The results indicate that an urban heating system using biomass as fuel is an alternative with benefits in terms of greenhouse gas emissions and fuel costs when based on cogeneration systems. Therefore, the conversion of the current IPB system based on the use of natural gas in a district heating system centered in a cogeneration plant using biomass should be considered as a viable solution in the near future.

KEYWORDS

District Heating; biomass; RETScreen; emissions of greenhouse gases; Bioenergy; Cogeneration; renewable energy

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	1
2 UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA LENHOSA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA	3
2.1. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	3
2.2. POTENCIAL DO RECURSO BIOMASSA EM PORTUGAL (TRÁS-OS-MONTES)....	6
2.3. CONVERSÃO DA BIOMASSA	7
2.3.1 Combustão.....	8
2.3.2 Gaseificação	8
2.3.3 Pirólise.....	9
2.4. Produção de Calor e Eletricidade (Cogeração)	10
2.5. Sistemas de Trigeração.....	13
3 DESCRIÇÃO GERAL DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO URBANO	15
3.1. SISTEMAS DE AQUECIMENTO URBANO A BIOMASSA.....	16
3.2. CONSTITUIÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO URBANO	17
3.2.1 Central de Produção	17
3.2.2 Sistema de Distribuição.....	19
3.2.3 Interface dos Consumidores	20
3.3. TIPOLOGIAS DE GERAÇÃO.....	21
3.3.1 Sistemas de Aquecimento com Água Quente	21
3.3.2 Sistemas de Conversão de Vapor em Água Quente	23
3.6. BENEFÍCIOS DO AQUECIMENTO URBANO	23
3.6.1 Benefícios Ambientais	23
3.6.2 Benefícios para o Consumidor	24
4 METODOLOGIA	25
4.1. Caracterização da Situação Existente.....	26
4.2. Determinação das Necessidades Térmicas.....	28
4.3. Definição de Cenários	28
4.4. RETScreen	31
4.4.1 Dados de base do projeto energético	32
4.4.2 Caracterização da carga e da rede	33
4.4.3 Caracterização do modelo energético.....	34
4.4.4 Análise de emissões	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. CONSUMO E CUSTO DOS COMBUSTÍVEIS.....	37
5.2. EMISSÕES DE GASES de EFEITO de estufa.....	41
6 CONCLUSÃO	45

REFERÊNCIAS	47
ANEXO I – Apresentação do RETScreen.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética mundial para os anos 2014 e 2025.....	3
Figura 2 - Matriz energética de Portugal para o ano de 2014.....	4
Figura 3 - Estrutura da biomassa	6
Figura 4 - Comparação entre geração de energia convencional e cogeração	11
Figura 5 - Exemplo de aplicação da trigeriação	13
Figura 6 - Etapas do Aquecimento Urbano	17
Figura 7 - Diferença entre conexão direta e indireta	20
Figura 8 - Metodologia proposta	25
Figura 9 - Mapa do Campus de Santa Apolónia com a localização dos edifícios estudados	26
Figura 10 - Folha de cálculo Iniciar do RETScreen	55
Figura 11 – Folha de cálculo Carga e Rede com as características dos edifícios.....	55
Figura 12 – Folha de cálculo Modelo Energético com a caracterização do aquecimento dos edifícios.....	56
Figura 13 – Folha de cálculo Modelo Energético para um cenário de cogeração (características da geração de eletricidade)	56
Figura 14 – Folha de cálculo Análise de Emissões	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dos edifícios estudados.....	27
Tabela 2 - Carga de aquecimento estimadas para os edifícios	28
Tabela 3 - Dados do consumo elétrico anual dos edifícios	30
Tabela 4 - Fatores de emissão.....	35
Tabela 5 - Consumos e custos anuais da situação de referência simulados (Consumo Anual Simulado) e medidos (Consumo Anual Real) nos edifícios do Campus de Santa Apolónia (IPB).	37
Tabela 6 – Consumos e custos da biomassa referentes ao cenário 1	38
Tabela 7 – Consumos e custos anuais da biomassa referentes ao cenário 2	38
Tabela 8 – Consumos e custos anuais de gás natural referentes ao cenário 3	39
Tabela 9 – Consumos e custos anuais de gás natural e biomassa referentes aos cenários 4 e 5	40
Tabela 10 – Custos com combustível acrescidos dos custos com eletricidade para a situação de referência e cenários estudados.	41
Tabela 11 - Emissões de GEE associadas ao consumo de eletricidade.....	42
Tabela 12 – Emissões de GEE associadas ao consumo/uso de energia térmica e elétrica para a situação de referência e os cenários estudados	43

ABREVIATURAS E UNIDADES

Abreviaturas

CHP	<i>Combined Heat and Power</i> (Geração Combinada de Calor e Eletricidade)
CHCP	<i>Combined Heat, Cooling and Power</i> (Geração Combinada de Calor, Arrefecimento e Eletricidade)
DH	<i>District Heating</i> (Aquecimento Urbano)
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ESA	Escola Superior Agrária
ESSE	Escola Superior de Educação
ESTiG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
GEE	Gases de Efeito Estufa
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
MGD	Metodologia Graus-dia
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PC	Poder Calorífico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
T&D	Transmissão e Distribuição
UE	União Europeia
NTNU	Universidade de Ciência e Tecnologia da Noruega

Elementos e Substâncias químicas

CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ eq	Dióxido de Carbono Equivalente
N ₂ O	Óxido de Azoto

Unidades

atm	Atmosferas
-----	------------

€	Euro
gCO ₂ eq.kWh ⁻¹	Gramas de dióxido de carbono por quilowatt hora
ha	Hectare
kg.GJ ⁻¹	Quilograma por Gigajoule
kJ.kg ⁻¹	Quilojoule por quilograma
kJ.kWh ⁻¹	Quilojoule por Quilowatt hora
kW	Quilowatt
Mt.ano ⁻¹	Megatonelada por ano
MWh	Megawatt hora
t	Tonelada
tCO ₂ eq.ano ⁻¹	Tonelada de dióxido de carbono equivalente por ano
W.m ⁻³	Watt por metro cúbico

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento sempre foi uma exigência humana básica. Contudo, à medida que as sociedades se foram desenvolvendo e a população migrando para centros urbanos, este processo começou a exigir tecnologias mais eficientes (Danfoss, 2010).

O aumento das preocupações ambientais relacionadas com as alterações climáticas e a contaminação da atmosfera, decorrentes, em grande parte, das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e de contaminantes atmosféricos da queima de combustíveis fósseis, acrescido da crescente priorização da eficiência energética, têm incentivado o uso de tecnologias mais limpas. Deste modo, tem-se contribuído para a expansão, na Europa e na América do Norte, de sistemas de aquecimento urbano (*District Heating-DH*).

O aquecimento urbano permite que a um conjunto de edifícios seja fornecido calor, na forma de água quente ou vapor de água a partir de uma fonte centralizada, para aquecimento de espaços físicos e/ou utilização direta (Skagestad e Mildenstein, 2002).

Nesse contexto, o aquecimento urbano oferece excelentes oportunidades para alcançar esses objetivos, por ser uma tecnologia extremamente flexível que pode recorrer praticamente a qualquer combustível, incluindo a utilização de calor residual industrial, fontes renováveis e ainda permite a aplicação de sistemas de cogeração (Skagestad e Mildenstein, 2002), processo de produção simultânea de calor e eletricidade. Portanto, essa combinação evidencia a sua eficiência, devido ao facto de se mostrar vantajosa financeira e ambientalmente, por aproveitar o calor gerado na produção de energia, que seria perdido, para o próprio sistema de aquecimento.

A energia solar, geotérmica e da biomassa (bioenergia) são exemplos de fontes de energia renovável frequentemente usadas em sistemas de aquecimento urbano (Ericsson e Werner, 2016) como forma de reduzir o uso de combustíveis fósseis, sendo social e culturalmente aceites em grande parte do mundo.

A biomassa, depois de um período de esquecimento, vem ganhando espaço como fonte de energia em muitos países, desenvolvidos ou subdesenvolvidos (Vallios *et al.*, 2009). O seu aproveitamento para fins energéticos traz vantagens não apenas na prevenção contra incêndios e redução de emissões de GEE, como também beneficia a economia dos países e das regiões, gerando oportunidades de emprego e negócios em diversos setores, para além de contribuir para uma menor dependência energética (Goulart, 1993). Por ser uma fonte renovável de energia que pode ser usada como

substituta dos combustíveis fósseis na produção de calor e eletricidade, é considerada como uma das principais fontes de energia do futuro (Novakovic, 2014).

A redução das emissões de GEE com o uso de biomassa é justificada pelo facto de as emissões de CO₂ resultantes da sua queima serem consideradas neutras, já que este GEE é absorvido durante o ciclo de crescimento de nova biomassa, sendo então capturado pelo seu cultivo sustentável (Rabaçal, 2010).

As esperanças sobre a biomassa estão também ligadas à possibilidade de produzir biocombustíveis líquidos a partir da celulose, hemicelulose e lignina, sendo que os principais combustíveis líquidos produzidos são o bioetanol, biodiesel, biogás, biometanol, entre outros (Rosa, 2005).

Ainda, na UE, fontes renováveis, como a biomassa, começaram a evoluir também como resultado da necessidade de reduzir e combater a dependência energética do petróleo, assim como dos países exportadores deste combustível (Barros, 2013).

Com base nestas considerações, o presente estudo tem por objetivo avaliar em termos energéticos, económicos e ambientais a implementação de sistemas de aquecimento alternativos ao presentemente em funcionamento no Campus de Santa Apolónia (Instituto Politécnico de Bragança - IPB, Portugal) com base em modelação e simulação. Neste trabalho testaram-se, em comparação com a situação atual, a utilização de biomassa florestal na forma de *pellets* associada ao sistema de aquecimento em funcionamento, bem como a performance de um sistema de aquecimento urbano com utilização de *pellets* e de um sistema de cogeração à escala do Campus.

A estrutura da dissertação está organizada em seis capítulos, incluindo o da introdução (capítulo 1), onde se procura apresentar uma visão geral do estudo e dos seus objetivos. No segundo e terceiro capítulos apresentam-se aspetos teóricos relevantes sobre biomassa e a sua utilização como fonte energética, bem como sobre os sistemas de aquecimento urbano. No quarto capítulo é apresentada a metodologia de estudo utilizada, descrevendo-se as etapas seguidas para a realização do trabalho, apresentando-se a caracterização do sistema atual de aquecimento do Campus do IPB, assim como das situações alternativas modeladas. No capítulo 5 são expostos os principais resultados referentes à análise energética, ambiental e de custos dos diferentes sistemas de aquecimento estudados. No sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas com este estudo.

2 UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA LENHOSA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

2.1. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Num contexto de energia, biomassa é qualquer matéria orgânica capaz de ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Ela pode ser classificada de acordo com sua origem, sendo florestal (madeira), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e resíduos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos) (ANEEL, 2008). Por este motivo é uma das fontes de energia renovável mais comumente encontrada e usada (Ouyang *et al.*, 2016).

A matriz energética aponta que a biomassa é o quarto combustível mais utilizado, sendo que 10% do consumo energético mundial é fornecido por este combustível, ficando atrás do petróleo, do carvão e do gás natural. A Figura 1 apresenta a matriz energética mundial para os anos de 2014 e 2025.

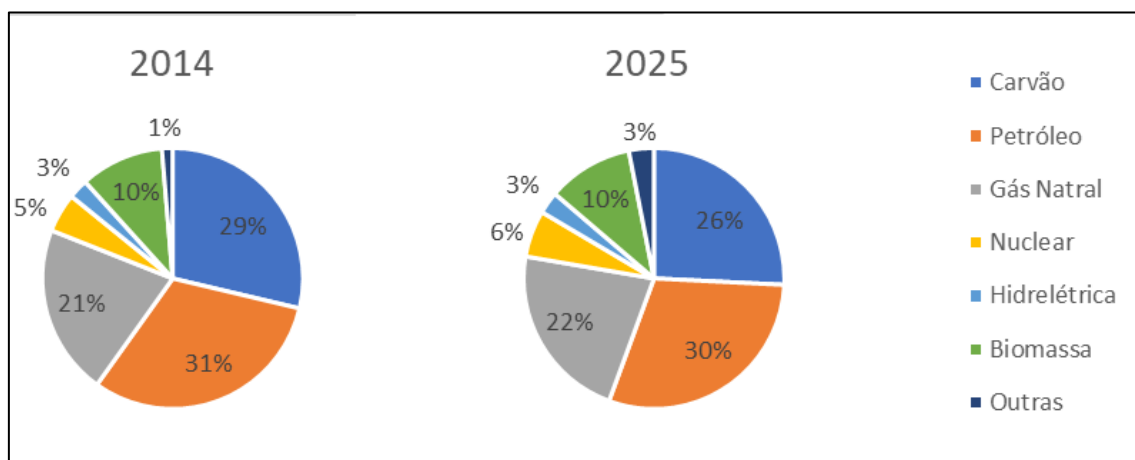


Figura 1 - Matriz energética mundial para os anos 2014 e 2025
Fonte: IEA (2016)

Em Portugal, o cenário é semelhante. A biomassa é terceiro combustível mais utilizado, juntamente com o carvão, representando 13% do consumo energético total do país, sendo que petróleo e gás natural, assim como na perspetiva mundial, também lideram o ranking de maior utilização. A Figura 2 apresenta a matriz energética de Portugal para o ano de 2014.

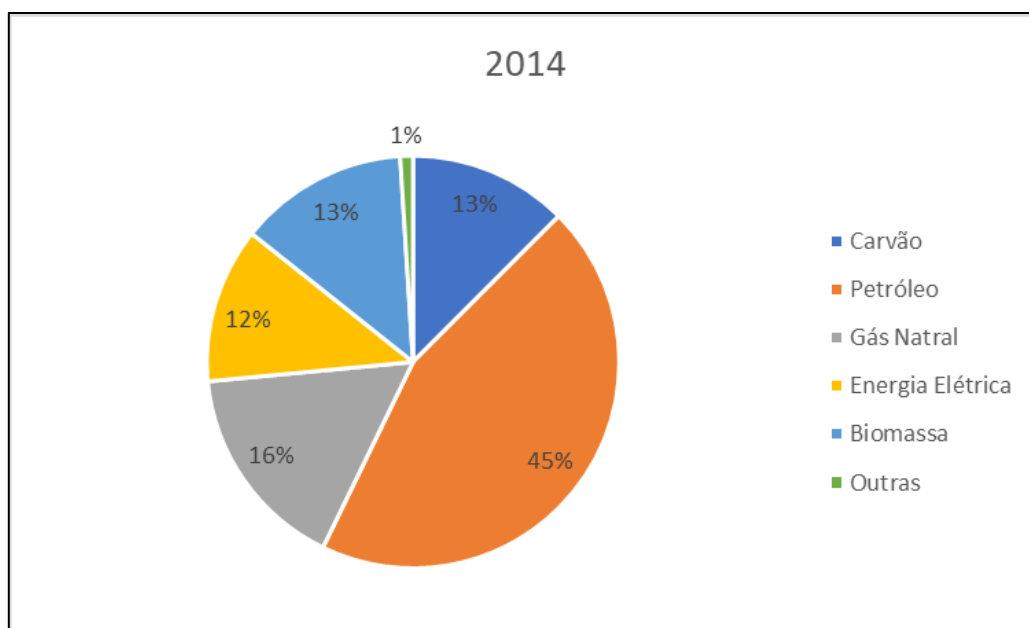


Figura 2 - Matriz energética de Portugal para o ano de 2014
Fonte: DGEG (2014)

Segundo o Manual de Combustíveis de Biomassa Sólida do Canadá - Solid Biomass Fuel - (Canada, 2016), a forma mais comum de biomassa é a florestal, que é constituída basicamente por madeira, ramos, pontas e cascas de árvores e serradura (Teixeira, 2011).

O aproveitamento da biomassa florestal para fins energéticos traz vantagens não só na luta contra incêndios e emissão de GEE, mas também beneficia a economia dos países, gerando oportunidades de empregos e negócios em diversos setores, e ainda contribui para uma menor dependência energética (Teixeira, 2009). No que respeita à emissão de gases de efeito de estufa, Ferreira (2012), cita que a emissão de CO₂ relacionada com a combustão da biomassa lenhosa é neutra, uma vez que o CO₂ emitido é recapturado com o crescimento da nova floresta plantada ou que regenera naturalmente após o corte.

Biomassa florestal primária é a fração biodegradável dos produtos e dos desperdícios de atividade florestal destinados a finalidades energéticas (Enersilva, 2007), sendo que as suas formas mais comuns de apresentação são as lenhas, ramos, bichas, estilha, briquetes e *pellets*. A lenha é a forma mais antiga utilizada, porém, devido a dificuldade de transporte e armazenamento, surgem formas processadas da madeira, como a estilha, que é a transformação da madeira em partículas de menor dimensão num processo de trituração ou crivagem. Tem-se ainda os briquetes e os *pellets*, que requerem um processo de transformação mais avançado e caro, que contudo, aumentam a massa

específica aparente da biomassa, chegando a valores de 5 a 10 vezes superiores à do material original (Teixeira, 2009).

Além da possibilidade de conversão em energia elétrica, a biomassa também pode ser transformada em biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição a derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina (ANEEL, 2008).

Mas ainda que apresente muitas vantagens, a biomassa é, muitas vezes considerada um combustível de baixo *status* ficando assim, atrás dos combustíveis fósseis na produção de energia. Contudo, este combustível é muito flexível como fonte de energia, devido à gama e diversidade da sua origem e modos de transformação, já que pode ser convertida diretamente para calor e eletricidade, ou pode ser convertida em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (Hall, 1997).

2.1.1 Características Químicas e Físicas

A biomassa florestal (Figura 3) é composta por celulose (aproximadamente 40%), hemicelulose (15 a 35%) e lignina (20 a 30%) variando estes teores de acordo com o tipo de planta, as suas condições de crescimento e a sua idade, entre outros (Ogata, 2013). A hemicelulose e a celulose compõem as paredes das fibras da madeira, onde a celulose é a parede e a hemicelulose ocupa os espaços vazios. Já a lignina é um polímero tridimensional responsável por manter as fibras da madeira juntas. A biomassa, diferente dos combustíveis fósseis, possui átomos de oxigénio na sua composição, o que faz com que requeira menos deste elemento na sua transformação e, consequentemente, seja menos poluente do que outros combustíveis sólidos. No entanto, este facto torna a biomassa num combustível de um poder calorífico superior (PCS) reduzido (Rendeiro *et al.*, 2008).

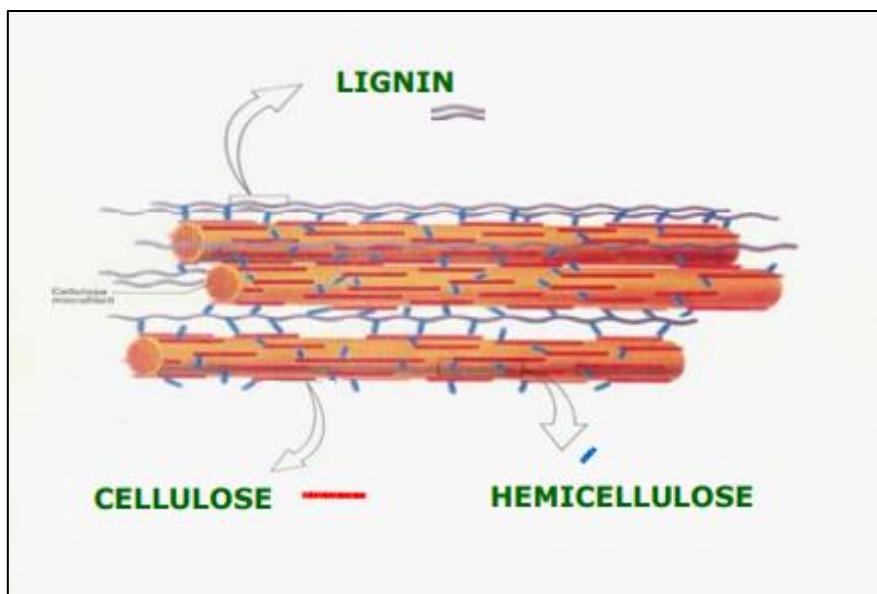


Figura 3 - Estrutura da biomassa
Fonte: Pereira Jr *et al.*, (2008)

O Poder Calorífico (PC) de um combustível corresponde à quantidade de energia térmica que a sua combustão completa, na presença de ar, liberta por unidade de massa ou volume do mesmo. O PC é dividido entre poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI). No PCS o calor de combustão despendido na vaporização das moléculas de água formadas é contabilizado como energia, já no PCI, apenas o calor de combustão que não participa do processo de vaporização é contabilizado como energia útil (Saiote, 2012).

O PC da biomassa, assim como em sua composição, varia de acordo com a espécie florestal e as características de crescimento, variando geralmente entre 8000 e 23000 kJ.kg⁻¹ (Vieira, 2012). No caso dos *pellets*, este valor varia de acordo com a qualidade do processamento deste produto. Enerpor (2017) considera o PC da lenha de 14400 kJ.kg⁻¹ e o do *pellets* de 18000 kJ.kg⁻¹.

2.2 POTENCIAL DO RECURSO BIOMASSA EM PORTUGAL (TRÁS-OS-MONTES)

Portugal é dos países europeus com maior percentagem de área florestal, onde cerca de 40% do território do país é ocupado por florestas, equivalendo a quase três milhões e 500 mil hectares. É a classe com maior expressão territorial e ocupa mais de um milhão de hectares do que a Agricultura. As espécies com maior expressão territorial são o pinheiro bravo (31%), o eucalipto (24%) e o sobreiro (18%) (Caetano *et al.*, 2017).

O Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, 2017) cita que a disponibilidade potencial de biomassa em Portugal chega a cerca de 2,2 Mt.ano⁻¹ para produção de energia.

Na região do nordeste transmontano, no norte de Portugal, a utilização de biomassa para energia é praticamente limitada ao aquecimento doméstico e preparação de alimentos a partir do uso de lenha, geralmente em lareiras (Azevedo *et al.*, 2011).

O Distrito de Bragança é o que apresenta maior consumo de lenha por agregado familiar, chegando a consumir cerca de 2,8 toneladas por ano, representando cerca de 27% do consumo energético do Distrito, sendo 75% da lenha utilizada em lareiras abertas (Ferreira, 2012 e Ferreira, 2008).

A biomassa lenhosa apresenta-se como o recurso com maior disponibilidade e menor custo, quando comparado com outras fontes, sendo que durante anos se manteve como a fonte mais utilizada para o aquecimento dos ambientes interiores. Contudo esta realidade tem-se alterado, dado que a partir de 2010 a eletricidade surgiu como principal fonte energética em Portugal, ocupando o primeiro lugar da forma de energia mais usada no aquecimento do ar ambiente, com cerca de 52% do consumo total de energia usada para este fim (DGEG, 2011).

Com o uso da biomassa, além de se promover o aproveitamento de resíduos e reduzir os riscos de incêndio florestais, valoriza-se também o setor rural, através do surgimento de novos negócios locais e, conseqüentemente, da geração de novos postos de trabalho, já que a biomassa está disponível em grande parte do território (Barros, 2013).

2.3 CONVERSÃO DA BIOMASSA

Existem inúmeros processos e tecnologias de transformação da biomassa, como os processos termoquímicos, sendo que a utilização de cada uma varia de acordo com a necessidade do produto, a biomassa disponível e as interações com outros setores. Alguns dos principais processos de conversão são a combustão, a pirólise e a gaseificação. Essas transformações são utilizadas, pois objetivam a transformação da biomassa em combustíveis líquidos, sólidos ou gasosos, com maior valor agregado.

2.3.1 Combustão

Combustão é um processo em que o combustível é queimado com o oxigénio do ar para libertar a energia química armazenada na forma de calor em queimadores, caldeiras, motores de combustão interna e turbinas (Overend, 2004), portanto, é a conversão em energia por meio da transformação da sua energia química em calor, através de reações dos elementos combustíveis (Cardoso, 2012).

A combustão é a maneira mais antiga de transformar a biomassa, sendo que dos 97% da produção mundial de bioenergia é obtida pela combustão da biomassa (Demirbas, 2004).

A transformação da biomassa pela combustão ocorre principalmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia) e caldeiras (geração de vapor). Embora se apresente como uma forma prática e conveniente, este processo é normalmente muito ineficiente. Além disso, a elevada humidade da biomassa e a baixa densidade energética do combustível, dificulta o seu armazenamento e transporte (ANEEL, 2008).

Quando a combustão é completa, ou seja, tanto o combustível quanto o oxigénio são completamente queimados, restarão apenas os produtos da combustão, juntamente com a energia produzida (Klass, 1998). Isto só pode ocorrer se as condições forem favoráveis, ou seja, pressão, temperatura e relação ar/combustível devem estar corretas. Se durante a reação tiver mais ar do que o definido pela relação estequiométrica, a temperatura da chama reduzirá, podendo até apagar-se. Contudo, se ocorrer o contrário, de haver menos ar do que a quantidade estequiométrica, o oxigénio começa a faltar na reação, libertando-se pouco calor e também baixando a temperatura (Rendeiro *et al.*, 2008).

O processo de combustão é geralmente conduzido com uma quantidade de ar superior à definida pelo equilíbrio estequiométrico (combustão oxidante). Quando se tem menores quantidades de ar, a transformação termoquímica ocorre pelo processo de gaseificação.

2.3.2 Gaseificação

A gaseificação de combustíveis sólidos é um processo bastante antigo e tem por objetivo a produção de um combustível gasoso com melhores características de

transporte, melhor eficiência de combustão e pode ser utilizado como matéria-prima noutros processos (CENBIO, 2002).

A gaseificação da biomassa é considerada uma das tecnologias mais promissoras para a conversão termoquímica de biomassa e também de resíduos, sendo uma maneira simples de produzir um gás combustível em escala suficiente, mantendo os custos operacionais relativamente baixos (Campoy *et al.*, 2008). O gás combustível produzido neste processo é constituído por uma mistura de metano, hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono e vapor de água (Teixeira, 2009).

Assim como a combustão, a gaseificação converte uma forma de combustível noutra ainda melhor, sendo os principais objetivos deste processo (Basu, 2010):

- aumentar o potencial de aquecimento, rejeitando componentes não combustíveis como azoto e água;
- remover enxofre e azoto para que quando queimado, o combustível não os emita na atmosfera;
- reduzir a relação de massa de carbono/hidrogénio (C/H).

2.3.3 Pirólise

Para Lora e Venturini (2012), a pirólise “é um processo de degradação termoquímica que ocorre quando se aplica calor a uma substância ou material, na ausência de oxidante”. Este processo é um dos métodos mais antigos e simples de conversão de um combustível sólido noutro de melhor qualidade e melhor conteúdo energético, como é o caso do carvão (ANEEL, 2008). Deste modo, esta transformação é um processo de oxidação-redução no qual uma parte da biomassa é reduzida a carbono, e a outra parte é oxidada e hidrolisada (Rocha *et al.*, 2004).

A pirólise apresenta três variações (Basu, 2010):

- torrefação
- pirólise lenta
- pirólise rápida

A pirólise rápida produz principalmente combustível líquido, o bio-óleo. A lenta produz gás e carvão sólido (um dos combustíveis mais antigos, usado para aquecimento). A torrefação é atualmente muito utilizada na conversão da biomassa, sendo que neste processo, ela é aquecida de 230 a 300°C sem contacto com oxigénio, de forma a causar uma alteração da estrutura química da madeira. A torrefação aumenta a densidade de energia da biomassa, reduzindo o seu peso bem como a sua natureza higroscópica, aumentando o seu uso comercial para produção de energia e reduzindo os custos de transporte (Basu, 2010).

2.3.4 Liquefação

A liquefação é um processo de decomposição da biomassa onde esta é convertida em combustíveis líquidos que são mais facilmente transportados e armazenados do que os gasosos (Pinto, 2006).

Este processo é realizado geralmente sob altas pressões, entre 50 e 200 atm e com temperaturas entre os 250 e os 450°C. Existem dois tipos de liquefação, a direta e a indireta. A forma indireta consiste em produzir gás de síntese, $\text{CO} + \text{H}_2$, por gaseificação e com o auxílio de um catalizador transformá-lo em metanol ou hidrocarboneto. Já a liquefação direta ocorre numa única etapa, com pressão e temperatura elevadas, formando-se espécies intermédias que podem ser estabilizadas por hidrogénio. Neste processo é vantajoso a presença de catalizador ou solvente (CENBIO, 2011; Dias, 2013).

O processo de liquefação, contudo, apresenta uma desvantagem relacionada com o facto dos compostos formados na fração líquida orgânica serem normalmente instáveis e reativos (Pinto, 2006).

2.4 PRODUÇÃO DE CALOR E ELETRICIDADE (COGERAÇÃO)

A cogeração surgiu como forma de aumentar o rendimento da produção de energia, já que este método garante o reaproveitamento da energia desperdiçada sob forma de energia térmica. A cogeração é também denominada como *Combined Heat and Power* (CHP) e consegue, com o mesmo combustível, a geração simultânea de energia elétrica ou mecânica e energia térmica em uma determinada instalação (França e Caseiro, 2007).

O calor produzido nestas centrais, pode ser utilizado diretamente no processo, bem como recuperado e convertido para utilização em aquecimento de espaços e/ou aquecimento de água (Silva e Mendonça, 2003).

Por esta razão o aquecimento urbano é uma das principais aplicações da cogeração. A Associação Europeia de Promoção a Cogeração, por meio do seu Guia de Cogeração, cita que este calor fornecido pelo processo é ideal para fornecer aquecimento para uso doméstico, comercial ou industrial, principalmente nas zonas urbanas do norte, centro e leste da Europa, onde os invernos longos e rigorosos exigem mais aquecimento (EDUCOGEN, 2001).

A Figura 4 apresenta um esquema da comparação da geração de energia convencional e por meio da cogeração no caso de sistemas de aquecimento urbano, onde se nota o melhor aproveitamento do combustível para a produção simultânea de eletricidade e calor.

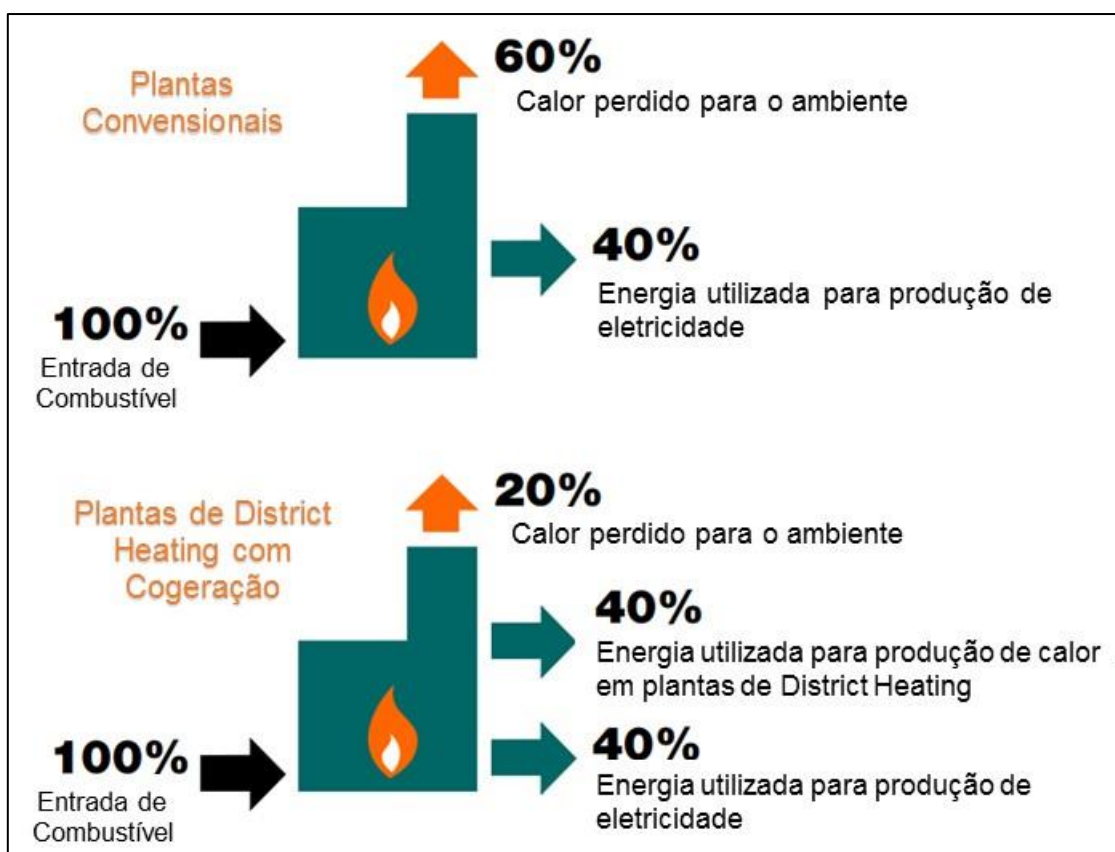


Figura 4 - Comparação entre geração de energia convencional e cogeração
Fonte: Adaptado de International District Energy Association, 2016.

Este processo melhora a taxa de eficiência energética de uma central de produção de energia, quando comparada a centrais convencionais, já que em vez de perder grande

parte do calor gerado no processo de produção de eletricidade, este é utilizado para a produção de calor (Kuitto, 2011).

A crescente preocupação da população em relação à energia e ao ambiente, impulsionou os sistemas de cogeração nas décadas de 70 e 80, por proporcionarem maior aproveitamento da energia global quando comparados às centrais convencionais (Paro, 2011).

Além disto, a cogeração representa uma alternativa que permite reduzir a fatura energética dos utilizadores, além de reduzir em cerca de 15 a 30% da energia primária para produzir, separadamente, eletricidade e calor (Silva e Mendonça, 2003).

Em síntese, uma das características mais vantajosas das centrais de cogeração é a geração de calor por meio do aproveitamento do calor que seria perdido para o ambiente. Todavia, apesar dessas características, segundo EDUCOGEN (2001) na EU apenas 10% da eletricidade é gerada em centrais de cogeração. Mas, Sipilä *et al.* (2005) afirma que existe potencial para aumentar essa produção para 22% até 2020.

A principal componente de uma instalação de cogeração são as máquinas que produzem eletricidade e energia térmica, sendo que estes equipamentos é que caracterizam a instalação ou a central de cogeração. Algumas soluções tecnológicas que podem equipar as centrais de cogeração são a Turbina a Gás (ciclo de Brayton), a Turbina a Vapor (ciclo de Rankine) ou as turbinas a gás ou a vapor a operarem em Ciclo Combinado. Estas tecnologias usam turbinas ou motores alternativos de combustão interna (Bicho, 2008).

O ciclo combinado é utilizado nas situações em que se deseja produzir energia elétrica e térmica úteis em quantidades variáveis de acordo com as cargas consumidoras ou para atendimento de mercados específicos. Algumas centrais possibilitam tanta flexibilidade que podem operar desde a produção máxima de eletricidade sem extração de vapor, até a produção máxima de vapor sem produção de eletricidade (Silva e Mendonça, 2003).

Novakovic (2014) cita que a turbina a vapor é usada há muito tempo, sendo que atualmente é responsável por grande parte da produção da eletricidade mundial. O ciclo termodinâmico que é usado nas turbinas a vapor é o chamado de ciclo Rankine. O autor ainda diz que todo sistema que inclui uma caldeira a vapor apresenta preços altos por unidade de energia gerada, e é por isto que centrais de cogeração com turbina a vapor são adequadas para aplicações de grande e médio porte, principalmente.

As turbinas a gás são a tecnologia mais utilizadas nos sistemas de cogeração, podendo ser utilizadas também para geração de energia. Estas operam no ciclo termodinâmico chamado de ciclo de Brayton e são consideradas uma das mais limpas tecnologias para produzir eletricidade. No ciclo de Brayton o ar é comprimido num compressor, aquecido na câmara de combustão e depois expandido na turbina e parte da energia produzida pela turbina é usada no próprio compressor. Algumas vantagens deste sistema são o baixo custo inicial, rápida manutenção e altas eficiências, principalmente para grandes instalações (Novakovic, 2014; Silva e Mendonça, 2003).

2.5 SISTEMAS DE TRIGERAÇÃO

Em países com climas temperados como Portugal, o aquecimento ambiente é geralmente limitado aos meses de inverno. No entanto, existem também necessidades de arrefecimento significativas, principalmente nos meses de verão. Neste sentido, a energia térmica em instalações de cogeração pode ser utilizada para produzir frio, por meio de um ciclo de absorção (França e Caseiro, 2007; Castro, 2009), nos chamados sistemas de trigerção, ou do inglês *Combined Heat, Cooling and Power* (CHCP).

Neste processo, o arrefecimento tipicamente é obtido adicionando-se *chillers* à central de cogeração (Simões *et al.*, 2005). *Chiller* é uma máquina que tem como função arrefecer água ou outro líquido por meio de ciclos termodinâmicos (França e Caseiro, 2007). O processo então ocorre pelo arrefecimento de parte do calor que seria perdido na produção de eletricidade, assim como no sistema de cogeração.

Na Figura 5 é possível perceber a simultaneidade dos sistemas de trigerção.

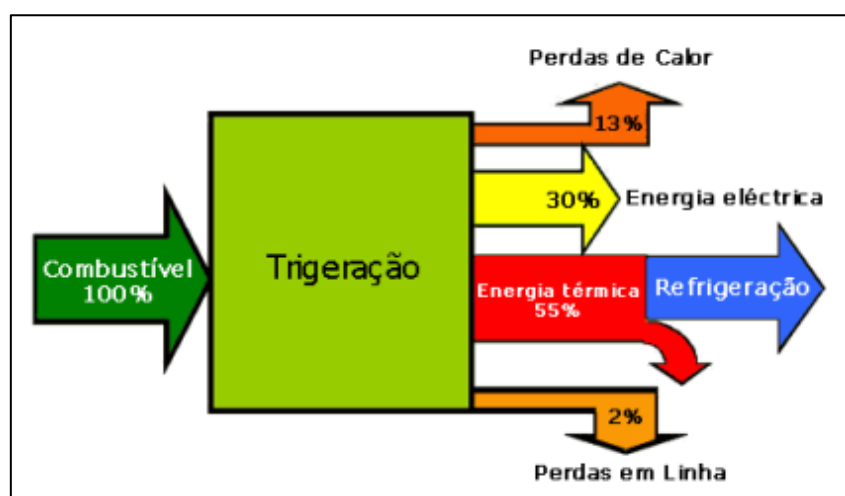


Figura 5 - Exemplo de aplicação da trigerção
Fonte: Simões *et al.*, (2005).

Nos casos de aquecimento urbano, de acordo com Silva e Mendonça (2003), estes sistemas fornecem frio a edifícios a partir de uma unidade central, sendo que a energia é, assim como nos sistemas de aquecimento urbano, transportada até aos edifícios por meio de uma rede subterrânea de condutas de água ou vapor.

3 DESCRIÇÃO GERAL DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO URBANO

Ao longo das últimas décadas, o aquecimento urbano tornou-se cada vez mais importante no aquecimento ambiente com estimativas que apontam para o aumento ainda mais acentuado do seu uso.

A base para o estabelecimento de uma oferta de aquecimento urbano é a possibilidade de obter uma maior eficiência e consequentemente uma redução nos custos de aquecimento, produzindo calor em grandes centrais em vez de caldeiras privadas instaladas nas habitações de cada agregado familiar (Benonysson *et al.*, 1995).

Aproximadamente 50% da energia consumida na Europa é usada para produção de calor, sendo que apenas 10% é proveniente de sistemas de aquecimento urbano, havendo aproximadamente 5.000 unidades de média/grande escala (Kuitto, 2009).

No aquecimento urbano um conjunto de edifícios é aquecido a partir de um sistema centralizado, a partir do qual se distribui água quente (ou vapor de água) por meio de uma rede de tubulações duplas subterrâneas, para fluxo e retorno, que é então utilizada diretamente ou para aquecimento de espaços (Skagestad e Mildenstein, 2002).

A distribuição nas tubulações é feita por meio de tubos pré-isolados enterrados diretamente no chão, da central até cada edifício, onde deve haver um conjunto de válvulas de controlo e um medidor de calor para controlar a temperatura fornecida, sendo que o sistema de aquecimento é dimensionado para atender as necessidades térmicas máximas de cada edifício, mas evitando sobredimensionamentos excessivos (Woods e Overgaard, 2016).

As redes de aquecimento centralizado também são importantes recursos para reduzir as emissões de GEE, sendo que estas vantagens são ainda mais perceptíveis na presença de cogeração (Haga *et al.*, 2012).

Desta forma, a eficiência destes sistemas a biomassa não só reduz o uso de combustíveis fósseis, como também resulta numa melhor proteção do ambiente em relação a emissões (Kuitto, 2009). Thorsen, (2012) cita que com o uso do aquecimento urbano a biomassa na Europa, 113 milhões de toneladas métricas de CO₂ deixam de ser emitidas na atmosfera por ano.

Ericsson e Werner (2016) citam que uma das formas fundamentais de garantir melhores eficiências no aquecimento urbano é recuperando o calor de outros processos que utilizam energia primária ou usar recursos de energia primária renováveis, sendo que

os três principais recursos estratégicos de recuperação de calor são a cogeração, incineração de resíduos e processos industriais.

3.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO URBANO A BIOMASSA

Os combustíveis fósseis costumavam ser importantes fontes de fornecimento de calor, contudo sistemas que combinam tecnologias energéticas renováveis ou alternativas, como a biomassa, passaram a ser utilizados com maior frequência para geração de calor (Rezaie e Rosen, 2012). A biomassa, por exemplo, tem sido uma importante fonte de energia, satisfazendo as necessidades energéticas de edifícios residenciais, indústrias e até transportes e atualmente também é colocada entre as principais fontes de energia para o futuro (Novakovic, 2014).

Grande parte da biomassa é geralmente usada em fogões e lareiras abertas. Os sistemas de aquecimento a biomassa se diferem destes pelo fato de se poder controlar a mistura de ar e combustível para a queima, a fim de maximizar a eficiência e minimizar as emissões, além de incluírem o sistema de distribuição, que transporta o calor do local de combustão para o local que deve ser aquecido (RETScreen, 2004).

Paniz (2009) cita que as matérias-primas mais importantes para a produção de calor são a madeira e subprodutos da indústria florestal. Acrescenta ainda que os principais combustíveis de biomassa de madeira utilizados na Europa são a lenha, a estilha e os *pellets* de madeira. Sendo que o mais utilizado para aquecimento urbano são os *pellets*. A compactação da biomassa nestes produtos surge como uma solução prática que permite uma alimentação automática dos sistemas de queima (Salústio, 2009).

Os *pellets* são subprodutos comprimidos da indústria de produtos florestais, geralmente madeira e serradura. São combustíveis de aquecimento localmente disponíveis e económicos, com várias vantagens em relação a outros tipos de biomassa. Os grânulos de madeira são uma forma condensada de tamanho uniforme o que os torna mais fácil de transportar e armazenar (Birchenough e Magnus, 2007).

Em ambientes urbanos densos, onde a necessidade de energia térmica é significativamente maior, o aquecimento urbano é o meio ideal para explorar as fontes de energia renováveis localmente disponíveis por serem ambientalmente favoráveis (Thorsen, 2012).

3.2 CONSTITUIÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO URBANO

Segundo Danfoss (2014), um sistema primário de aquecimento urbano pode ser dividido em produção (caldeira central), distribuição (condutas pré-isoladas) e consumo (edifícios dos utilizadores) (Figura 6).

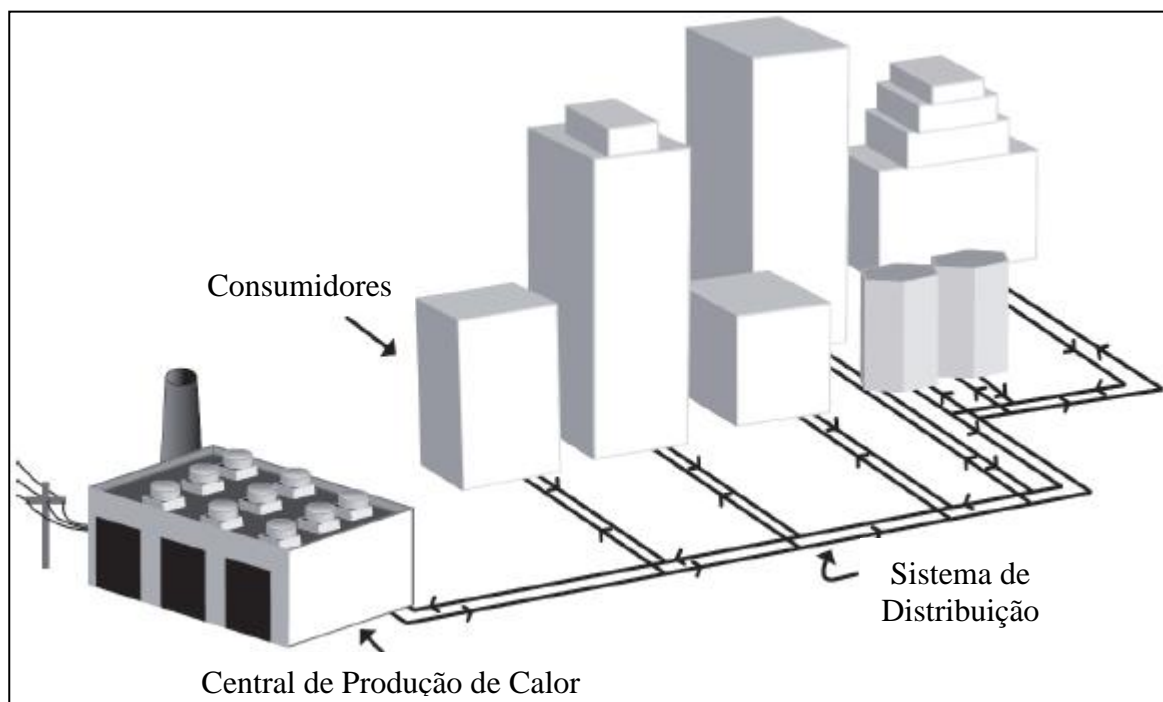


Figura 6 - Etapas do Aquecimento Urbano
Fonte: Adaptado de Phetteplace (2013).

3.2.1 Central de Produção

A central de produção tem por objetivo gerar calor na forma de água quente (ou vapor) para suprir as necessidades de aquecimento dos utilizadores, sendo que estas podem ser obtidas por meio de plantas de calor ou de cogeração (Rezaie e Rosen, 2012).

As redes de aquecimento urbano diferem em tamanho, layout e de acordo com as condições regionais no local de instalação. Elas são projetadas para alcançarem o nível ideal de desempenho e conforto do utilizador. Deste modo, as configurações de temperatura, nível de pressão operacional e os requisitos técnicos de conexão e construção devem ser adequados para garantir um fornecimento confiável e seguro. Tais pontos levam ao *design* de centrais que devem oferecer (Thorsen, 2012):

- temperatura e pressão adequadas;

- eficiência energética e de aquecimento e altos níveis de desempenho e controle;
- monitorização do desempenho e faturação de acordo com o uso;
- fornecimento seguro de energia e calor.

A central de produção contém importantes equipamentos mecânicos e elétricos, tais como as caldeiras, para geração de calor, bombas, aparelhagens e auxiliares afins. As centrais podem representar cerca de 25% do investimento de capital para instalação de aquecimento urbano, além de ser responsável pelo maior segmento de custos operacionais (Danfoss, 2004).

O sistema de aquecimento urbano com cogeração em Assens na Dinamarca, inicialmente utilizava carvão como combustível, contudo, considerando aumentos em energia e impostos ambientais, o sistema foi convertido para utilizar biomassa, começando com *pellets* e depois expandindo para o uso de aparas de madeira. Atualmente a central produz cerca de 26.000 a 28.000 MWh de eletricidade por meio de uma turbina a vapor e 226.000 GJ de calor por ano em uma caldeira (B&W Vølund, 2017).

Outro caso é a central de aquecimento urbano com trigeração em Pfaffenhofen, Alemanha. Esta central tem uma caldeira com capacidade de 26.7 MW que utiliza biomassa como combustível e outras duas caldeiras a gás de 21 MW para situações de pico, fornecendo juntas cerca de 120 GWh de calor anualmente. Ainda, conta com uma turbina a vapor de 6 MW para produção de energia e três *chillers* de absorção sendo um de 300 kW, que atende a demanda de um hospital, um de 700 kW e outro de 650 kW que atendem a alguns edifícios comerciais (Schaefer, 2001).

Ainda se tem o caso de uma central de trigeração aqui em Portugal, no Parque Expo. Esta central conta com (Silva e Mendonça, 2003):

- um grupo alternador com potência elétrica de 4,8 MW;
- uma caldeira de recuperação com potência de 12 MW de calor;
- uma caldeira auxiliar com potência de 15 MW de calor;
- dois *chillers* de absorção cada um com potência de 5MW de geração de frio e outros dois *chillers* de compressão de 5,85 MW de potência.

3.2.2 Sistema de Distribuição

A rede de distribuição do aquecimento urbano é composta geralmente por um par de condutas isoladas termicamente, uma para o fluxo que transporta água quente até os edifícios e outra para o retorno da água à central (Woods e Overgaard, 2016).

Segundo Skagestad e Mildenstein (2002) o dimensionamento dessas condutas é regido por quatro fatores principais: a diferença de temperatura entre a central e o retorno; a velocidade máxima admissível do fluxo; a pressão da rede de distribuição e os requisitos mínimos de pressão para atingir o consumidor mais remoto.

Segundo os mesmos autores, para que haja distribuição torna-se necessário o uso de bombas de circulação que criam um diferencial de pressão entre as condutas de alimentação e de retorno.

O material das condutas pode variar bastante. O aço e o plástico são os mais utilizados, sendo este último, por ser mais flexível e mais fácil de instalar, recomendado para tubulações individuais nos edifícios recetores (Woods e Overgaard, 2016).

Estes autores ainda destacam que as redes de distribuição são geralmente enterradas no solo, de forma semelhante a outros serviços públicos, o que dificulta futuras inspeções e torna possíveis reparações mais caras, devendo desta forma garantir-se uma instalação de alta qualidade.

Outro problema da rede de distribuição está associado às perdas de calor, onde Pimentel (2015) destaca que cerca de um décimo do calor produzido anualmente é perdido neste processo, devido principalmente a quatro fatores: isolamento da tubulação; diâmetro e comprimento dos tubos; temperatura de alimentação e retorno e distribuição geográfica dos consumidores.

Desta forma, Phetteplace (2013) aponta que os sistemas devem ponderar as perdas de temperatura e fornecê-la de tal forma que seja suficiente para satisfazer as necessidades dos consumidores.

Para o caso citado anteriormente de aquecimento urbano em Pfaffenhofen, na Alemanha, a rede de tubulações subterrâneas tem um total de 14,5 km para o sistema de alta temperatura, que sai da central com até 130 °C e uma extensão de 4,5 km para o sistema de média temperatura, que chega até 85°C (Schaefer, 2001).

Já para o caso do Parque Expo em Portugal, a rede de distribuição passa por toda a zona de intervenção da Expo. A distribuição do calor e do frio é feita por uma malha de tubulações subterrâneas com um total de 40 km, sendo que a água fria sai da central a

5,5°C e retorna a 12°C e a água quente sai a 100°C e retorna à central com aproximadamente 65°C (Silva e Mendonça, 2003).

3.2.3 Interface dos Consumidores

Os edifícios aquecidos podem ser ligados à central de produção direta ou indiretamente. A conexão direta leva a água de aquecimento da central diretamente aos equipamentos terminais, nomeadamente aos radiadores. Este tipo de ligação é limitado a usar os mesmos requisitos de temperatura e pressão da central até os consumidores. Já a ligação indireta utiliza um permutador de calor no edifício para transferir a energia térmica da rede de distribuição do sistema para o sistema de distribuição do próprio edifício. Desta maneira, a central e o sistema de distribuição operam como sistemas separados, permitindo maior flexibilidade quanto a temperatura e pressão (Skagestad e Mildenstein, 2002). A Figura 7 apresenta um esquema representativo das conexões direta e indireta.

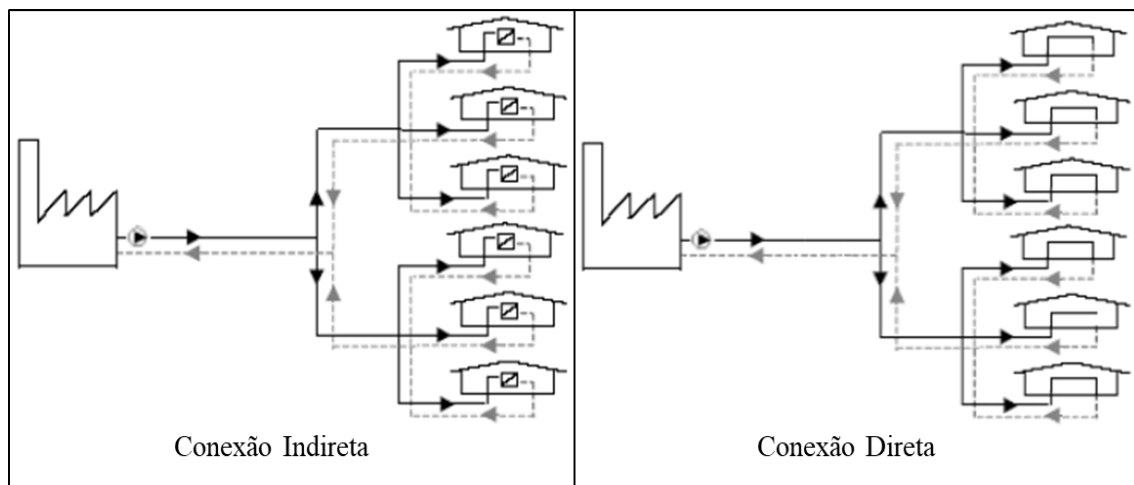


Figura 7 - Diferença entre conexão direta e indireta
Fonte: Adaptado de Kuitto (2011)

Skagestad e Mildenstein (2002) citam ainda que conexões indiretas apresentam maiores vantagens, como redução de custos e a produção instantânea e constante de água quente pelos permutadores particulares. Sendo ainda que os sistemas diretos, se utilizam de tanques de armazenamento de água quente, onde deve ser considerado o espaço para esta instalação.

3.3 TIPOLOGIAS DE GERAÇÃO

A distribuição de calor em sistemas de aquecimento urbano pode ser feita por meio de água quente e também sob forma de vapor. O vapor foi o primeiro meio de transferência de calor utilizado em sistemas de aquecimento urbano (Friedrich, 2007), contudo, as desvantagens com perdas de vapor ocasionaram a evolução dos sistemas a água quente.

Por esta razão há uma constante substituição deste método para sistemas de distribuição de água quente. Zhivov *et al.* (2006) menciona as seguintes vantagens dos sistemas de aquecimento de água quente:

- exigem menos manutenção;
- são mais seguros;
- são menos propensos a fugas;
- maior vida útil dos equipamentos.

Wade (1995) cita ainda mais vantagens para o uso de água quente, tais como, simplificação na manutenção e operação de controlos de aquecimento, manutenção das tubulações, caldeiras e equipamentos auxiliares é facilitada, poupança de energia, entre outros.

3.3.1 Sistemas de Aquecimento com Água Quente

3.3.1.1 Sistemas de baixa temperatura

O aquecimento urbano tem o potencial de ser uma produção de calor eficiente e económica, contudo, uma desvantagem destes sistemas é a perda de calor nos tubos de transmissão e distribuição (Elmegaard, *et al.*, 2016).

Em face destes problemas ocasionados com a perda de calor na rede de distribuição de água do aquecimento urbano, tende-se a utilizar sistemas de baixa temperatura, de 30 a 50° C, sendo que este nível de temperatura é suficiente para manter o ambiente confortável nos edifícios (Skok e Karl, 2013).

Além da redução das perdas de calor, Zhivov *et al.* (2006) cita outras vantagens deste sistema:

- possibilidade de utilização de isolamento de espuma de poliuretano, que é um bom isolante térmico de baixo custo;
- permite o uso de conduta não metálica, resistente à corrosão e de menor custo;
- é um sistema mais fácil de controlar;
- é mais seguro em caso de vazamentos.

Segundo Woods e Overgaard (2016), os sistemas de baixa temperatura ainda tornam o armazenamento de calor na central de aquecimento urbano menos complicado e oneroso, já que se diminuem as perdas.

Contudo, estes sistemas também apresentam algumas desvantagens. Uma forma de aumentar a quantidade de calor disponível para os utilizadores, sem mudar o sistema de distribuição, consiste em aumentar a temperatura de alimentação, contudo, este sistema tem pouca capacidade para isto, já que as centrais não são preparadas para receber mais calor. Além disso, necessitam de permutadores de calor de muita eficiência e que geralmente apresentam grandes áreas de superfície. E ainda, os equipamentos de geração e distribuição de calor devem apresentar-se sempre limpos, caso contrário, o aquecimento pode não funcionar eficientemente (Zhivov *et al.*, 2006).

3.3.1.2 Sistemas de temperatura variável

Segundo Zhivov *et al.*, (2006), os sistemas de temperatura variável são sistemas de aquecimento urbano de baixa temperatura, onde a temperatura distribuída aos utilizadores é ainda mais reduzida, variando de acordo com as necessidades das estações do ano, por exemplo, no verão, as necessidades de aquecimento diminuem, reduzindo-se, desta forma, a temperatura de fornecimento da água, sendo que neste período, a única necessidade de aquecimento é de água quente para uso doméstico. Mais tarde, nos períodos de meses frios, volta-se a elevar a temperatura da água, a fim de suprir a demanda de aquecimento.

Algumas vantagens citadas para este sistema são as menores perdas de calor nas tubulações, maior durabilidade do isolamento e menor expansão e contração nos tubos de distribuição, ocasionados com as diferentes temperaturas externas (Zhivov *et al.*, 2006).

3.3.2 Sistemas de Conversão de Vapor em Água Quente

Muitos sistemas antigos utilizam o vapor produzido na caldeira como forma de aquecimento, contudo este meio possui uma série de problemas, já que exige constante manutenção dos equipamentos de distribuição do vapor a fim de manter tanto o sistema de produção, quanto o de distribuição de calor em perfeito funcionamento. Além disso, requer alto grau de tratamento da água, uma vez que o sistema permite entrada de oxigênio, o que acelera a corrosão e deterioração das tubulações. Há também questões de segurança, pois vazamentos de vapor são de difícil identificação (Zhivov *et al.*, 2006).

3.6 BENEFÍCIOS DO AQUECIMENTO URBANO

3.6.1 Benefícios Ambientais

A centralização das unidades de produção de energia a biomassa resulta em menores pontos de emissão, juntamente com a vantagem de grandes instalações serem mais adequadas a implementação de tecnologias de controlo da poluição mais sofisticadas e possuindo operadores treinados e boas práticas de operação e manutenção dos equipamentos (Sipilä *et al.*, 2000).

O aquecimento urbano pode contribuir para a mitigação das alterações climáticas e outras questões ambientais relacionadas com a energia, como a poluição do ar, a degradação do ozono estratosférico e as chuvas ácidas (Rezaie e Rosen, 2012).

Além disso, as centrais de aquecimento urbano, se utilizadoras de sistemas de cogeração, resultam num enorme incremento da sua eficiência energética, além da redução do uso de combustíveis fósseis ou renováveis, e da diminuição das emissões relacionadas com o processo de combustão envolvido (Sipilä *et al.*, 2000).

3.6.2 Benefícios para o Consumidor

Skagestad e Mildenstein (2002) referem que sistemas de aquecimento urbano podem beneficiar o utilizador, por oferecer maior confiabilidade, maior conforto, menor investimento, poupanças com custos operacionais, maior eficiência energética e maior flexibilidade no uso de combustíveis. Citam ainda as vantagens:

- as centrais são construídas com capacidade de aquecimento *stand-by* para garantir que o calor esteja sempre disponível;
- menor espaço de construção, pois os equipamentos necessários requerem apenas 10% do espaço requerido por aquecimentos convencionais;
- melhor controle de uso já que se instalados contadores, é possível monitorar as condições dos edifícios.

Silva e Mendonça (2003) referem ainda que as vantagens do aquecimento urbano vão além dos consumidores, beneficiando também a sociedade como um todo e os municípios, tais vantagens são:

- aumento da eficiência da energia;
- utilização de energias renováveis locais;
- redução de emissão de poluentes;
- redução nas faturas de energia e aquecimento;
- redução nos custos de manutenção;
- disponibilidade de empregos durante a construção, entre outros.

4 METODOLOGIA

Por meio da modelação é possível fazer uma pré-análise de sistemas de aquecimento e verificar a sua possível viabilidade. Por este motivo, a metodologia adotada neste estudo aplicado ao Campus do Instituto Politécnico de Bragança consistiu na modelação do sistema existente/situação atual de aquecimento e de cenários de aquecimento, a fim de compará-los e identificar a melhor solução em relação a custos de combustível, assim como identificar aquele que apresenta menor impacto em termos de emissões de GEE.

Além da situação existente, definiram-se e avaliaram-se 5 cenários distintos de aquecimento que compreendem sistemas alternativos aos convencionais, entre eles centrais de aquecimento urbano e centrais de aquecimento urbano com sistemas de cogeração. Para todos os sistemas avaliou-se as diferenças entre a utilização de gás natural ou de biomassa peletizada.

A Figura 8 apresenta um esquema simplificado da metodologia adotada.

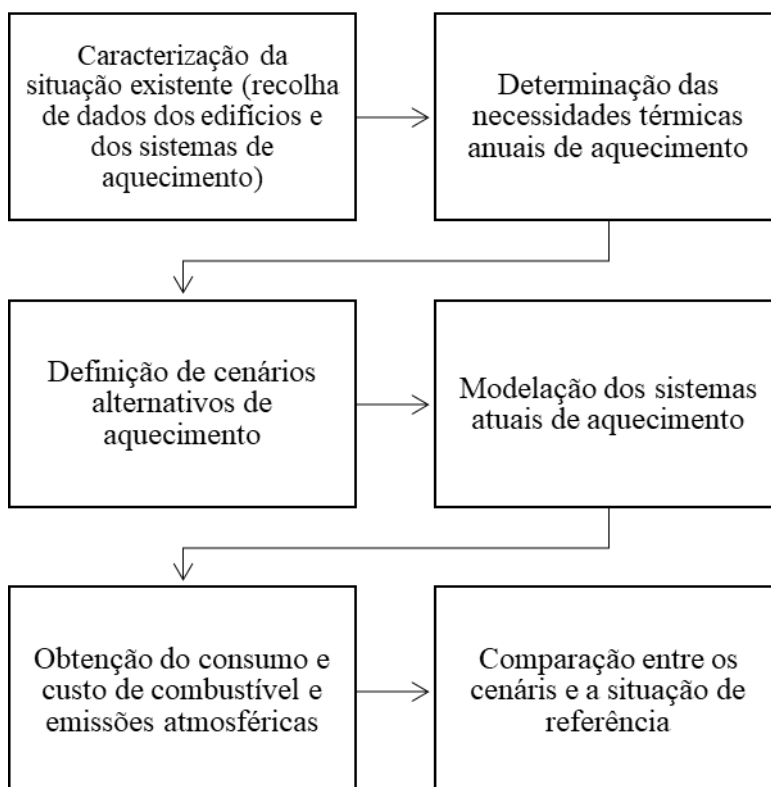


Figura 8 - Metodologia proposta
Fonte: Adaptado de Vallios *et al.*, (2009).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

O Campus de Santa Apolónia inclui dez edifícios, sendo eles as escolas de Tecnologia e Gestão (ESTiG), Agrária (ESA) e Educação (ESE); os Serviços Centrais, os Serviços de Ação Social, o Centro Académico, a Cantina e três residências para estudantes (Figura 9).



Figura 9 - Mapa do Campus de Santa Apolónia com a localização dos edifícios estudados
Fonte: Instituto Politécnico de Bragança, 2016.

Este estudo particular, contudo, abrange apenas 7 dos 10 edifícios: as três escolas (ESA, ESE e ESTiG), a Cantina e as duas residências estudantis no Campus: Verde e Castanha. A residência Gulbenkian, embora no exterior, foi também considerada dada a sua proximidade do Campus.

Atualmente, o Campus conta com sistemas de aquecimento convencionais e independentes, onde cada edifício possui uma ou mais caldeiras abastecidas a gás natural

e tubulações que levam a água quente até radiadores instalados nas mais diversas tipologias de espaços que recebem aquecimento.

Os edifícios apresentam características construtivas e dimensões distintas, apresentando também diferenças em termos de necessidades térmicas, de potências térmicas instaladas, de cargas de aquecimento e horário de funcionamento das caldeiras.

A recolha dos dados necessários foi realizada por meio de consulta de documentos disponibilizados pelo IPB e também junto dos Serviços de Manutenção da mesma instituição. Neste estudo apenas se teve em consideração os consumos de gás para aquecimento para um ano de referência (2010), a fim de realizar comparações com os sistemas alternativos de aquecimento.

Os dados meteorológicos utilizados são disponibilizados pelo próprio modelo RETScreen. Segundo Cruz (2016), o RETScreen tem parceria com a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que desta maneira, disponibiliza tais dados para qualquer ponto do planeta.

A Tabela 1 apresenta algumas das características mais importantes dos edifícios estudados, que foram utilizadas na modelação, sendo os valores de carga de aquecimento dos edifícios estimados, como apresentado no próximo tópico.

Tabela 1 - Dados dos edifícios estudados

Edifício	Área (m²)	Capacidade da Caldeira (kW)	Horário de Funcionamento
ESA	13.810,00	400 + 1000	Seg - Sex: 7h às 19h Sáb: 7h às 16h
ESE	7.589,00	250 + 150	Seg - Sab: 7h às 19h
ESTiG	12.239,00	1100	Seg - Sex: 7h às 21h Sáb: 7h às 16h
Cantina	1.856,31	250	Contínuo
Res. Verde	3.720,05	250 + 250	Contínuo
Res. Castanha	1812,41	90 + 75	Contínuo
Res. Gulbenkian	683,52	90	Contínuo
Total	41.761,77	3.905	-

Os edifícios da ESA, ESE e das Residências Verde e Castanha apresentam duas caldeiras utilizadas no seu aquecimento, enquanto os outros possuem apenas uma caldeira.

4.2 DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES TÉRMICAS

Após a caracterização da situação existente (doravante também designada de referência), fez-se a determinação das necessidades de aquecimento anuais de cada edifício recorrendo à metodologia graus-dia (MGD) (Goulart, 1993). Este método baseia-se no cálculo do somatório da diferença entre uma temperatura base (no interior) e a temperatura média diária (no exterior), sempre que a temperatura diária for inferior à temperatura de base. Apesar da sua simplicidade, este método permite obter resultados aceitáveis. A temperatura de base utilizada no estudo foi de 18°C (Aguiar, 2013). Posteriormente, estimou-se os valores das cargas médias de aquecimento para cada edifício com base nas características de isolamento térmico dos mesmos e da temperatura de projeto dos sistemas de aquecimento bem como em resultados obtidos num estudo desenvolvido anteriormente para o edifício da Escola Superior de Educação, incluído neste estudo (Cota, 2014). As cargas térmicas de cada edifício estão, então, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Carga de aquecimento estimadas para os edifícios

Edifício	Área (m ²)	Necessidade de Aquecimento (W.m ⁻²)
ESA	13.810,00	45
ESE	7.589,00	48
ESTiG	12.239,00	45
Cantina	1.856,31	40
Res. Verde	3.720,05	48
Res. Castanha	1812,41	45
Res. Gulbenkian	683,52	58

4.3 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

Posteriormente, de modo a identificar-se o melhor sistema de aquecimento a biomassa florestal, do ponto de vista energético e ambiental, foram definidos 5 cenários

para serem comparados entre si e com a situação atual de aquecimento no Campus (situação de referência):

- Cenário 1: Sistema convencional com queima de biomassa

Este cenário é semelhante ao cenário de referência em que em cada edifício é instalado uma caldeira e radiadores nos espaços físicos que recebem aquecimento. Contudo, as caldeiras dos edifícios são abastecidas com biomassa. Para modelação deste cenário, a única alteração face à situação de referência foi a substituição do gás natural por biomassa lenhosa peletizada (*pellets*). Os *Pellets* resultam da compactação de material lenhoso, criando um combustível sólido muito mais uniforme, com melhores propriedades energéticas e mais fácil e barato de empacotar, transportar e armazenar.

- Cenário 2: Aquecimento Urbano com utilização de biomassa

Este cenário inclui apenas uma central de aquecimento, abastecida a biomassa, para suprir as necessidades de aquecimento de todos os edifícios do Campus; A partir desta central, a água quente é levada aos edifícios por uma malha de tubulações duplas subterrâneas que servem de saída de água quente (75 a 115° C) em direção aos sistemas de distribuição interna, por tubulações secundárias dos edifícios, e regresso da mesma à central de aquecimento, a uma temperatura inferior (35 a 60° C).

A modelação deste cenário teve por base as mesmas características dos edifícios adotadas para o cenário 1 tendo-se, no entanto, adotado uma caldeira com uma potência térmica igual à soma das potências térmicas instaladas em cada edifício (Tabela 1). Os comprimentos das tubulações primárias e secundárias de transporte de água foram estimados por meio da plataforma Google Earth (Google, 2017).

- Cenário 3 – Aquecimento Urbano com utilização de Gás Natural

Este cenário possui as mesmas características do cenário 2. Contudo, a central de aquecimento é abastecida com gás natural.

- Cenário 4 – Aquecimento Urbano com sistema de cogeração e utilização de biomassa

Este cenário difere dos restantes devido ao fato de abranger um sistema de cogeração, com produção de eletricidade e de calor, simultaneamente, na mesma central com utilização de biomassa florestal como combustível.

Para a modelação deste cenário, utilizou-se as mesmas características dos edifícios que foram considerados nos outros cenários e ainda, como se trata de um sistema de aquecimento urbano, há apenas uma central para suprir a necessidade de aquecimento e de eletricidade para todos os edifícios estudados, sendo que as características do sistema de aquecimento urbano são as mesmas dos cenários 2 e 3.

Os parâmetros utilizados para a cogeração são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados do consumo elétrico anual dos edifícios

Edifício	Consumo elétrico (MWh ano⁻¹)
ESA	750
ESE	357
ESTIG	695
Cantina	83
Res. Verde	157
Res. Castanha	81
Res. Gulbenkian	30
Total	2.153

Além disto, considerou-se outros valores, como:

- Taxas de recuperação de calor: 65%;
- Taxa de aquecimento: 11.000 kJ.kWh⁻¹;
- Perdas na transmissão e distribuição (T&D) de eletricidade: 10%.

A tecnologia considerada para geração de energia foi baseada na turbina a gás a qual, segundo Novakovic (2014), é uma das tecnologias mais utilizadas para centrais de

cogeração e, de acordo com Santos e Novo (2008), em relação às suas características, é adequado para estas centrais.

Em sistemas de turbina a gás, o combustível é queimado num turbo gerador, sendo que parte da energia do combustível transforma-se em energia mecânica que então se transformará em energia elétrica, com o auxílio de um alternador (Bastos, 2011). Já para o calor, Silva e Mendonça (2003) citam que os gases de exaustão à saída da turbina estão a altas temperaturas (450-600°C), tornando viável a recuperação de calor para sistemas de aquecimento. E ainda, que são sistemas de baixo custo inicial e de manutenção.

França e Caseiro (2007) citam a baixa poluição ambiental relacionada com as emissões atmosféricas, como umas das vantagens das turbinas a gás. Além disto, acrescentam que são equipamentos de simples manutenção, elevada fiabilidade, não necessitam vigilância constante, possuem rápido arranque, são unidades compactas e de pequeno peso, entre outras.

- Cenário 5 – Aquecimento Urbano com sistema de cogeração e utilização de gás natural

Este cenário é semelhante ao cenário 4 onde ocorre a geração de calor e eletricidade simultaneamente em uma mesma central. Contudo, diferencia-se do anterior pela utilização de gás natural no lugar da biomassa.

4.4 RETSCREEN

A modelação dos sistemas de aquecimento foi realizada com o *software* RETScreen, *International Clean Energy Project Analysis Software 4*, que é um *Software* de gestão de energia limpa destinado a analisar a viabilidade de projetos de eficiência energética, energias renováveis e de cogeração, além de analisar o desempenho energético de forma contínua (RETScreen, 2017). O RETScreen é disponibilizado gratuitamente pelo Governo do Canadá e foi desenvolvido pelo Canmet *Energy Technology Center* (*Natural Resources Canada*).

O RETScreen é apresentado numa interface Excel, onde cada parâmetro requisitado (*input*) é associado com um banco de algoritmos que, por meio de equações matemáticas, dá aos usuários uma série de *outputs*, como no caso deste trabalho, os consumos e custos de combustíveis e as emissões de GEE. Os meios de transformação de

inputs em outputs, ou seja, os algoritmos, são apresentados em um manual digital disponibilizado pelo próprio RETScreen (RETScreen, 2005).

Os algoritmos de cálculo são baseados em quatro principais pontos considerados pelo *software*: Analisador de energia virtual, Identificador de projeto inteligente, Avaliador de risco financeiro e Rastreador de desempenho.

O RETScreen possui dois tipos de análise, identificadas por método 1 e método 2, sendo estes apenas diferenciados pela complexidade de preenchimento e pelo número de planilhas de cálculo. O método 2 é mais complexo e exige informações mais detalhadas, sendo dividido em sete folhas de cálculo dinâmicas.

A primeira folha de cálculo é uma página inicial onde se faz a caracterização inicial do projeto a ser desenvolvido. Depois disso seguem-se as folhas de cálculo relativas ao Modelo Energético, Análise de Custo, Análise de Emissões de GEE, Análise Financeira, Análise de Risco e, ferramentas de apoio. Para projetos que envolvem produção de calor ou frio ainda se considera a folha de cálculo referente à Carga e Rede. Esta folha, juntamente com a do Modelo Energético, são as de maior relevância para o presente trabalho, já que são nelas que se definem as principais características para o aquecimento, como a área dos edifícios e sua necessidade de aquecimento, a potência térmica das caldeiras, o combustível utilizado e também as características das tubulações, no caso do aquecimento urbano.

Já o método 1 é significativamente mais simplificado, onde se tem apenas o preenchimento da folha de cálculo Modelo Energético. Este método é geralmente utilizado para verificar-se rapidamente se um cenário é viável para então ser calculado no método 2 (RETScreen, 2017).

A modelação dos sistemas foi validada com referência nos dados de consumo de gás natural para aquecimento presente nas faturas do Campus, sendo que após a modelação do cenário da situação de referência dos edifícios, os valores encontrados foram validados por comparação com os das faturas.

Os passos seguidos no processo de modelação estão seguidamente divididos de acordo com a sequência de folhas de cálculo do RETScreen.

4.4.1 Dados de base do projeto energético

A modelação da situação existente e dos cenários inicia-se com a inserção de informação de base do projeto energético, nomeadamente o nome e localização do

projeto, o tipo de projeto, nomeadamente se é produção de calor, frio, eletricidade, cogeração ou projeto de eficiência energética, além da tecnologia usada para tal. Definem-se ainda o poder calorífico de referência e o tipo de análise, tendo-se utilizado para todas situações modeladas o poder calorífico superior (PCS) e o método 2, respetivamente. A opção pelo método 2 envolve um modelo mais complexo que requer o fornecimento de informação relativo às cargas e rede, ao modelo energético e à análise de emissões, sendo as outras excluídas pelo facto de não abrangerem o tema proposto.

Para os sistemas que envolvem apenas aquecimento (situação de referência e os cenários 1, 2 e 3), no campo do tipo de projeto, seleccionou-se a opção de produção de calor. Para os cenários de cogeração (cenários 4 e 5), seleccionou-se produção de calor e eletricidade. Ainda nesta folha de cálculo, escolhe-se a localização do projeto para utilização dos dados climáticos respetivos. Depois de escolher os dados climáticos de Bragança, alterou-se apenas a coluna de Graus-dia. A alteração foi feita para que este parâmetro se aproximasse da realidade de aquecimento dos edifícios, já que o RETScreen apresenta uma demanda de 30 dias de aquecimento e na prática, este é utilizado apenas em dias úteis.

O Anexo 1 apresenta imagens referentes às folhas de cálculo do RETScreen utilizadas neste estudo, onde se pode observar os parâmetros descritos na metodologia.

4.4.2 Caracterização da carga e da rede

Na folha de cálculo Carga e Rede inseriram-se as características dos edifícios, começando pelo número de edifícios que o sistema abrange. Para a situação de referência e o cenário 1, a análise foi efetuada isoladamente para cada um dos edifícios. Para os cenários que envolvem o aquecimento urbano, a análise foi aplicada a todos os edifícios abrangidos pelo aquecimento urbano. Em seguida, inseriu-se a área de aquecimento dos edifícios, o combustível utilizado para aquecimento, a eficiência sazonal, a carga de aquecimento dos prédios, as necessidades de água quente e o preço do combustível.

A eficiência sazonal foi considerada igual a 65% para todos os cenários, já que a modelação possui carácter comparativo, contudo, este valor pode variar de acordo com a caldeira utilizada. Além disto, a necessidade de água quente foi considerada 0% em todos os casos, pelo facto de o consumo de gás natural com esta função ser negligenciável na maior parte dos edifícios.

O preço adotado para o gás natural foi de €0,65 por m³, (ERSE, 2017), e o da biomassa, estimado com base em valores do mercado nacional, foi de 170 €/tonelada.

Para os cenários de cogeração, ainda nesta folha de cálculo, inseriram-se as necessidades de eletricidade de cada prédio, apresentados na Tabela 3 e para os cenários de aquecimento urbano, as temperaturas de saída (70°C) e retorno de água quente (40°C), além das dimensões das tubulações que a levam da central aos edifícios. O Quadro 2 apresenta resumidamente as características desta folha de cálculo.

4.4.3 Caracterização do modelo energético

A folha de cálculo do Modelo Energético, com as características de aquecimento relativas aos cenários foi preenchida de forma diversa para os casos de aquecimento e de cogeração. Para os casos de aquecimento, preenche-se apenas a tecnologia utilizada para produção de calor. Para a situação existente, apenas foi necessário seleccionar a caldeira e sua capacidade. Contudo, para a cogeração houve necessidade de fornecer muitos mais elementos informativos como a tecnologia de produção de eletricidade para a carga de base, nomeadamente a turbina a gás, potência eléctrica (Tabela 3) e a taxa de aquecimento (11.000 kJ.kWh⁻¹).

Posteriormente, seleccionou-se a estratégia de operação utilizada. Das três opções apresentadas (potência eléctrica máxima de saída, acompanhando carga eléctrica e acompanhando a carga de calor), optou-se pelo Acompanhando a Carga de Calor.

No que se refere aos campos da carga de ponta do sistema eléctrico, foram considerados os valores de potência da turbina a gás e da taxa de aquecimento iguais às do sistema de base em todos os cenários. Nas características do sistema de aquecimento, semelhantes aos cenários de aquecimento, inseriu-se a tecnologia utilizada (caldeira) e também os valores da capacidade da caldeira de aquecimento (Tabela 3). O Quadro 3 apresenta a síntese da folha de cálculo Modelo Energético.

4.4.4 Análise de emissões

Para a análise de emissões, o RETScreen considera três métodos. O método 1 é uma análise simplificada das emissões de GEE, enquanto o método 2 usa os fatores de emissões pré-definidos nos cálculos, e o método 3 exige que o utilizador insira esses parâmetros (Canada, 2017).

O método selecionado para as análises foi o 2, onde o próprio programa insere os valores dos fatores de emissão para os combustíveis, sendo que os valores utilizados para este método e para o método 1 estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Fatores de emissão		
Poluente	Combustível (kg.GJ ⁻¹)	
	Pellets	Gás Natural
CO ₂	0,0000	49,4000
CH ₄	0,0299	0,0036
N ₂ O	0,0037	0,0009

O fator de emissão referente ao CO₂ para a queima de *pellets* é zero, por se considerar que o CO₂ emitido é extraído da atmosfera durante o processo de fotossíntese (Soares *et al.*, 2006; Nunes, 2015). Além disto, o fator de emissão considerado para a eletricidade foi de 40 kgCO₂eq.GJ⁻¹.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONSUMO E CUSTO DOS COMBUSTÍVEIS

Os resultados da modelação em RETScreen dos diversos sistemas considerados, nomeadamente em termos do consumo anual de combustível para cada edifício ou para o conjunto de edifícios estudados e também do custo energético para o mesmo período, encontram-se apresentados nas Tabelas 5 a 9. Na Tabela 5 apresentam-se os resultados do modelo relativo à situação atual em termos de consumo e custo anual de gás natural. Na mesma tabela são apresentados os consumos reais de gás natural que por comparação com os valores estimados serviram para validação do modelo.

Tabela 5 - Consumos e custos anuais da situação de referência simulados (Consumo Anual Simulado) e medidos (Consumo Anual Real) nos edifícios do Campus de Santa Apolónia (IPB).

Edifício	Consumo Anual		Consumo Real
	Gás Natural (m³)	€	Gás Natural (m³)
ESA	82.782	53.809	81.349
ESE	48.533	31.546	48.188
ESTiG	73.365	47.687	72.282
Cantina	9.891	6.429	7.573
Res. Verde	46.228	30.048	48.600
Res. Castanha	21.115	13.725	21.670
Res. Gulbenkian	10.264	5.521	12.203
Total	292.178	188.765	291.865

O consumo de gás natural variou principalmente de acordo com as características dos edifícios, tais como área de aquecimento, as necessidades térmicas e os tipos de isolamento de cada um, sendo que quanto maior a área e a necessidade de calor e menor o isolamento, maior o consumo de combustível.

As tabelas seguintes são referentes aos cenários de aquecimento propostos. A Tabela 6 apresenta os resultados de consumo e de custos de biomassa obtidos para o cenário 1.

Tabela 6 – Consumos e custos da biomassa referentes ao cenário 1

Edifício	Consumo Anual	
	Biomassa (t)	€
ESA	190	32.285,00
ESE	111	18.924,00
ESTiG	168	28.612,00
Cantina	23	3.857,00
Res. Verde	106	18.029,00
Res. Castanha	48	8.233,00
Res. Gulbenkian	23	4.000,00
Total	670	113.940,00

Este cenário apresenta uma redução de aproximadamente 60% no custo anual de aquisição do combustível, se comparado com a situação de referência.

A Tabela 7 descreve os resultados encontrados para consumo e custos da biomassa para o cenário 2.

Tabela 7 – Consumos e custos anuais da biomassa referentes ao cenário 2

Edifício	Consumo Anual	
	Biomassa (t)	€
ESA	248	42.160,00
ESE	145	24.650,00
ESTIG	220	37.400,00
Cantina	29	4.930,00
Res. Verde	71	12.070,00
Res. Castanha	32	5.440,00
Res. Gulbenkian	15	2.550,00
Total	760	129.200,00

Este cenário de aquecimento urbano apresentou um pequeno acréscimo no consumo e nos custos de biomassa em relação ao cenário 1, ficando em torno de 13% mais cara a aquisição anual de combustível. Esta característica pode ser explicada pelas perdas de calor que ocorrem na distribuição da água quente, desta maneira, a demanda de aquecimento de água deve ser maior, já que esta deve sair da central a uma temperatura suficientemente quente, para que ao chegar no edifício consumidor, atenda a demanda necessária de aquecimento. Mesmo este cenário de aquecimento urbano ter apresentado acréscimo nos custos, ainda se apresenta mais económico do que a situação de referência.

Em relação ao aquecimento urbano a gás natural (cenário 3), a Tabela 8 apresenta os respetivos consumos e custos.

Tabela 8 – Consumos e custos anuais de gás natural referentes ao cenário 3

Edifício	Consumo Anual	
	Gás Natural (m³)	€
ESA	108.221	70.344,00
ESE	63.436	41.233,00
ESTIG	95.910	62.342,00
Cantina	12.928	8.403,00
Res. Verde	31.095	20.212,00
Res. Castanha	14.200	9.230,00
Res. Gulbenkian	6.899	4.484,00
Total	332.689	216.248,00

Este cenário apresentou custos mais elevados que os dos cenários que utilizam biomassa e também do que a situação de referência, consumindo cerca de 13% mais gás natural. E com relação ao cenário 1, teve um aumento de quase 90% nos gastos com aquisição anual de combustível. Tal como no cenário 2, existem as perdas de calor na distribuição da água quente, exigindo uma maior demanda de aquecimento da água e um maior consumo de combustível. Este facto pode justificar os aumentos em relação à situação de referência.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos consumos de biomassa e gás natural para os cenários 4 e 5, que apresentam sistemas de cogeração. Para estes cenários, o RETScreen calcula separadamente as demandas de combustível para a geração de energia e para a geração de calor. A modelação da parte de eletricidade foi baseada na demanda energética dos edifícios.

Tabela 9 – Consumos e custos anuais de gás natural e biomassa referentes aos cenários 4 e 5

Cenário	Consumo Anual				
	Combustível	Eletricidade	Calor	Total	€
4	Biomassa (t)	1.324	224	1.548	263.160,00
5	Gás Natural (m³)	577.399	98.073	675.472	439.056,80

Estes cenários foram os que apresentaram maiores consumos e custos com combustíveis, atingindo aproximadamente o dobro dos cenários sem cogeração correspondentes. Porém, estes valores devem-se à produção de eletricidade, facto não considerado nos restantes cenários.

No ano de referência, os custos com eletricidade para os edifícios estudados no Campus do IPB foram de €191.335,00. Deste modo, para tornar a comparação dos cenários comuns com estes de cogeração, se deve somar aos custos de combustíveis dos outros cenários com os de eletricidade (gastos no ano de referência). Assim, os novos valores encontrados condizem com os gastos efetuados na compra de combustível para aquecimento e com os de eletricidade.

A Tabela 10 mostra estes valores do custo com combustível e o seu somatório com o custo médio de consumo de eletricidade (€191.335,00) nos edifícios estudados para a situação de referência e cenários considerados neste estudo.

Tabela 10 – Custos com combustível acrescidos dos custos com eletricidade para a situação de referência e cenários estudados.

Cenário	Custos com Combustível (€)	Custos com Combustível + Eletricidade (€)
Situação de Referência	188.765,00	380.100,00
Cenário 1	113.940,00	305.275,00
Cenário 2	129.200,00	320.535,00
Cenário 3	216.248,00	407.583,00
Cenário 4	263.160,00	263.160,00
Cenário 5	439.056,00	439.056,00

Para além destes factos, tem-se ainda que a eletricidade modelada serve principalmente ao princípio de suprir a necessidade dos edifícios, contudo, existe ainda a possibilidade de a eletricidade remanescente ser exportada para a rede. O RETScreen apresenta a quantidade de energia produzida e a discrimina quanto a energia fornecida à carga e a que é exportada a rede, deste modo, dos 1.072 MWh de eletricidade produzidos anualmente nos cenários 4 e 5, 944 MWh são fornecidos à carga, suprimindo a necessidade dos edifícios e os 128 MWh remanescentes, podem ser exportados para a rede.

Ponderados estes pontos, o cenário que apresenta menores custos médios com aquisição de combustível é o cenário 4, relativo ao aquecimento urbano com cogeração e utilização de biomassa, mesmo sem a consideração da venda de eletricidade remanescente.

Além disto, todos os cenários que utilizam a biomassa, apresentam menores custos com aquisição de combustível. Tais resultados também foram encontrados por Sá (2009), que ao fazer comparações entre combustíveis, salientou a eficiência e economia da biomassa peletizada.

5.2 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO DE ESTUFA

Relativamente às emissões de gases de efeito de estufa (GEE), os cenários, que envolvem a utilização de biomassa apresentam emissões substancialmente mais baixas do que a situação de referência e os cenários que utilizam gás natural. O cenário que apresentou menores valores em relação a este parâmetro foi o cenário 1, de aquecimento

convencional com utilização de biomassa, explicado pelo facto de consumir menos combustível do que os outros cenários e a situação de referência. Além disto, soma-se o facto de que as emissões de CO₂ não serem consideradas nos cenários que utilizam biomassa, já que como citado anteriormente, este valor é considerado nulo para a biomassa florestal, pois se considera que o crescimento de novas florestas equilibra as emissões resultantes da queima da mesma.

Os cenários de referência, 1, 2 e 3 não apresentam as emissões associadas ao consumo de eletricidade. Todavia, para efeitos da contabilização da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, a contribuição da produção de eletricidade para as emissões de GEE são contabilizadas. Assim, o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade nos edifícios é igual a 0,144 kgCO₂eq.kWh⁻¹, de acordo com o estabelecido no Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013, A Tabela 11 apresenta as emissões relativamente a produção de eletricidade.

Tabela 11 - Emissões de GEE associadas ao consumo de eletricidade

Edifício	Emissões de GEE (tCO₂eq ano⁻¹) relativas ao consumo de eletricidade
ESA	108,00
ESE	51,40
ESTIG	100,08
Cantina	11,95
Res. Verde	22,60
Res. Castanha	11,66
Res. Gulbenkian	4,32
Total	310,01

Deste modo, a Tabela 12 apresenta os valores relativamente as emissões de GEE para os cenários estudados, sendo que para a situação de referência e os cenários 1, 2 e 3, somaram-se as emissões que condizem com o consumo de eletricidade apresentadas na Tabela 11. Ainda, para os cenários 2, 3, 4 e 5 o RETScreen não desagrega as emissões de GEE para cada edifício, apresentando apenas as emissões globais.

Tabela 12 – Emissões de GEE associadas ao consumo/uso de energia térmica e elétrica para a situação de referência e os cenários estudados

Edifício	Emissão de GEE (tCO ₂ eq.ano ⁻¹)					
	Cenário					
	Referência	1	2	3	4	5
Emissões de GEE associados ao uso de energia térmica						
ESA	160,6	6				
ESE	94,2	3,5				
ESTiG	142,3	5,3				
Cantina	19,2	0,7				
Res. Verde	89,7	3,3				
Res. Castanha	41	1,5				
Res. Gulbenkian	19,9	0,7				
Total	566,9	21	22,8	645,6	48,9	1315,9
Emissões de GEE associados ao uso de energia elétrica						
	310,01	310,01	310,01	310,01	-	-
Total	876,91	331,01	332,81	955,61	48,9	1315,9

Por meio desta análise, os resultados mostram que as emissões de GEE do cenário 4 são consideravelmente mais baixas, sendo desta maneira o cenário que atende melhor as características estudadas neste trabalho.

Estes resultados mostram que sistemas de aquecimento urbano com utilização de biomassa constituem boas opções para aquecimento de edifícios. E também, que existem benefícios ao se utilizar estas centrais com sistemas de cogeração dado que, para além de menores níveis de emissões de GEE, o aproveitamento para aquecimento dos gases quentes resultantes da produção de eletricidade, diminuem consideravelmente a demanda de combustível voltada para a produção de calor e consequentemente, os preços para sua aquisição.

Estudos na Noruega também provam que sistemas de aquecimento urbano com cogeração e utilização de biomassa são viáveis. O maior Campus da Universidade de Ciência e Tecnologia da Noruega (NTNU), o Gloshaugen, é abastecido de calor por meio de um sistema de aquecimento urbano. Este Campus tem 35 edifícios e uma área total de

313.000 m². Novakovic (2014) simulou a implantação de um sistema de aquecimento urbano com cogeração utilizando biomassa e obteve resultados positivos em relação a gastos com esta central. A demanda do Campus para calor e eletricidade somam um total de 350.000 MWh, mostrando que centrais de grandes proporções também apresentam benefícios. O autor chegou à conclusão que se utilizando de recursos de biomassa do próprio país, o projeto de implantação destes sistemas poderia ser viável. Assim pode ser com Portugal também, que apresenta grande possibilidade de se utilizar de recursos de biomassa florestal do próprio país.

Bernotat e Sandberg (2004) num estudo realizado na Suécia e nos Países Bálticos demonstraram que pequenas e micro-centrais de aquecimento urbano também se apresentam viáveis para implementação. Os autores analisaram desde consumidores individuais com demandas até 500 MWh até um conjunto de edifícios com demanda de 84.000 MWh. Os autores reafirmam a conclusão de Novakovic (2014) no estudo da Noruega, que o uso de biomassa local torna o investimento do sistema mais viável e afirma também, que as pequenas centrais de aquecimento urbano devem dar preferência ao uso de biomassa mais homogênea, sendo os *pellets* mais recomendados.

O aquecimento urbano não apresenta apenas redução no custo com combustível e de emissões de GEE. A centralização das unidades de aquecimento tem a vantagem de que grandes instalações são mais suscetíveis a incorporação de tecnologias sofisticadas de controlo da poluição e de boas práticas de operação e manutenção dos equipamentos (Sipilä *et al.*, 2000).

Além disso, os utilizadores podem beneficiar de maior confiabilidade, maior conforto, menor investimento, economia de custos operacionais e maior eficiência energética. Soma-se ainda que ocupam menores espaços de construção e controle padronizado das condições térmicas dos edifícios (Skagestad e Mildenstein, 2002) e permitem maior eficiência no controle de partículas emitidas com a queima da biomassa.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados das simulações em RETScreen para os sistemas de aquecimento estudados, observou-se que o uso de biomassa florestal na forma peletizada apresenta vantagens ambientais e financeiras relativamente ao uso de gás natural, visto que todos os cenários que utilizam biomassa apresentam menores custos e menores emissões de gases de efeito estufa. Estas vantagens tornam-a uma opção promissora no uso como combustível para aquecimento de ar ambiente.

O aquecimento urbano (cenários 2 e 3) apresentou maiores custos com combustível e maiores emissões de GEE do que o sistema de aquecimento convencional a biomassa (cenário 1). Uma provável explicação para este facto pode ser decorrente de uma das principais desvantagens do aquecimento urbano: as perdas térmicas que ocorrem na distribuição da água quente desde a central de produção de calor até aos edifícios. Contudo, ao compará-los com o sistema atual, o uso de biomassa nos em sistemas de aquecimento urbano (cenário 2) apresenta menores custos e reduzidas emissões de GEE.

O cenário com menores custos anuais com o combustível e com menores emissões de GEE foi o de aquecimento urbano com cogeração e utilização de biomassa (cenário 4). A utilização de biomassa mostrou-se sempre benéfica quanto aos parâmetros analisados. Desta maneira, este resultado mostra que o uso de sistemas de aquecimento urbano a biomassa com cogeração é uma opção adequada para o aquecimento de ambientes de vários prédios, como é o caso do IPB.

Um facto que pode ser considerado importante para futuros trabalhos, é uma análise financeira e de custos aprofundada, considerando-se os custos de implantação e manutenção destes sistemas, que pode ser realizada no próprio RETScreen. Estes resultados tornariam a análise de implantação destes sistemas de aquecimento mais aprofundada e precisa.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, R. (2013). *Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios (versão 2013)*. Retrieved from [http://www.lneg.pt/download/10599/Dados climáticos e Anos Meteorológicos de Referência para SCE 2013_LNEG2013.pdf](http://www.lneg.pt/download/10599/Dados%20climaticos%20e%20Anos%20Meteorologicos%20de%20Referencia%20para%20SCE%202013_LNEG2013.pdf)
- ANEEL. (2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil (3ª)*. Brasília. Retrieved from <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>
- Azevedo, J. C., Castro, J. P., Terelho, L., Escalante, E., & Feliciano, M. (2011). Avaliação do Potencial de Produção e Utilização Sustentável de Biomassa para Energia no Distrito de Bragança. In *Gestão de Bens Comuns e Desenvolvimento Regional Sustentável* (pp. 1008–1021). Bragança - Zamora: 17º Congresso da APDR.
- B&W Vølund. (2017). Assens Fjernvarme, Denmark - biomass reference. Retrieved July 3, 2017, from http://www.volund.dk/References_and_cases/Biomass_energy_solutions/Assens
- Barros, C. S. A. (2013). *Produção de Pellets para valorização de resíduos provenientes da indústria corticeira*. Universidade do Minho. Retrieved from [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/28198/1/tese_Carla Barros_2013.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/28198/1/tese_Carla%20Barros_2013.pdf)
- Bastos, J. B. V. (2011). *Avaliação de Mecanismos de Incentivo à Cogeração de Energia a Partir do Bagaço da Cana-de-Açúcar em uma Planta Química Brasileira de Soda-Cloro*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis Handbook* (1st ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00001-5>
- Benonysson, A., Bohm, B., & Ravn, H. F. (1995). Operational Optimization in a District Heating System. *Energy Conversion and Management*, 36, 297–314.
- Bernotat, K., & Sandberg, T. (2004). Biomass fired small-scale CHP in Sweden and the Baltic States: A case study on the potential of clustered dwellings. *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.10.010>
- Bicho, H. E. F. dos S. (2008). *Cogeração e Trigeração: Estudo das Tecnologias, Enquadramento Jurídico e Aplicações à Indústria*. Universidade da Beira Interior. Retrieved from [https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2390/1/Dissertação Mestrado HEFdSBicho.pdf](https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2390/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Mestrado%20HEFdSBicho.pdf)
- Birchenough, D., & Magnus, K. (2007). *A Reference on Wood Pellet Fuels e Technology for Small Commercial e Institutional Systems*. Massachusetts: Massachusetts Division of Energy Resources. Retrieved from http://www.biomasscenter.org/pdfs/DOER_Pellet_Guidebook.pdf
- Caetano, M., Igreja, C., Marcelino, F., & Costa, H. (2017). *Estatísticas e dinâmicas territoriais multiescala de Portugal Continental 1995-2007-2010 com base na*

Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS). Portugal.

- Campoy, M., Gómez-Barea, A., Villanueva, A. L., & Ollero, P. (2008). Air-Steam Gasification of Biomass in a Fluidized Bed under Simulated Autothermal and Adiabatic Conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47, 5957–5965. <https://doi.org/10.1021/ie800220t>
- Canada. (2016). Solid Biomass Fuels. Canada: Natural Resources.
- Canada. (2017). RETScreen 4. Canadá: Natural Resources Canada.
- Cardoso, B. M. (2012). *Uso da Biomassa como Alternativa Energética*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Retrieved from <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005044.pdf>
- Castro, R. M. G. (2009). *Introdução à Cogeração*. Lisboa. Retrieved from <http://energia.ist.utl.pt/ruicastro>
- CENBIO. (2002). *Comparação entre Tecnologias de Gaseificação de Biomassa Existentes no Brasil e no Exterior e Formação de Recursos Humanos na Região Norte*. São Paulo. Retrieved from http://143.107.4.241/download/publicacoes/Estado_da_Arte.pdf
- CENBIO. (2011). Tecnologias de Aproveitamento da Biomassa. Retrieved August 1, 2017, from <http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=779>
- Cota, S. M. A. (2014). *Análise Energética de um Edifício Público*. Instituto Politécnico de Bragança.
- Cruz, T. B. (2016). *Análise do potencial de inserção de energia solar térmica para aquecimento de água em residências unifamiliares no Brasil*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Danfoss. (2004). Evaluation of systems and programmes. In *8 Steps - Control of Heating Systems* (pp. 47–88). Dinamarca: Danfoss.
- Danfoss. (2010). The Heating Book - 8 Steps to Control of Heating Systems. *Control*, 113–138. Retrieved from http://heating.danfoss.com/pcmfiles/1/master/he/library/heating_book.asp?menuuid=4b642b70-fcb2-46b4-a1ac-bd0ac806f40e&menuid=54#
- Danfoss. (2014). The heating book: Instructions for designing district heating system. *Instruction for Designing District Heating Systems*, 89–112. Retrieved from http://heating.danfoss.com/Content/61078BB5-1E17-4CA2-AC49-8A7CAC2BA687_MNU17424997_SIT54.html
- Demirbas, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(2), 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2003.10.004>
- DGEG. (2011). *Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico*. Portugal.
- DGEG. (2014). *Balanço Energético 2014*. Portugal.
- Dias, D. J. B. (2013). *Processos de valorização energética de óleos e gorduras*.

- Universidade Nova de Lisboa. Retrieved from https://run.unl.pt/bitstream/10362/11340/1/Dias_2013.pdf
- EDUCOGEN. (2001). *A Guide to Cogeneration. The European Association for the Promotion of Cogeneration*. Belgium. Retrieved from http://www.energymanagertraining.com/CHPMaterial/12-V-EDUCOGEN_Cogen_Guide.pdf
- Elmegaard, B., Schmidt Ommen, T., Markussen, M., & Iversen, J. (2016). Integration of space heating and hot water supply in low temperature district heating. *Energy and Buildings*, 124, 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.003>
- Enerpor. (2017). Energia e Ambiente | Simulador. Retrieved June 30, 2017, from <http://www.enerpor.pt/pt/Simulador>
- Enersilva. (2007). *Promoção do uso da Biomassa Florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa*.
- Ericsson, K., & Werner, S. (2016). The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. *Biomass and Bioenergy*, 94, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.011>
- ERSE. (2017). *Tarifas e preços de gás natural para o ano 2016-2017 e parâmetros para o período de regulação 2016-2019* (2016th ed.). Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.
- Ferreira, H. (2008). *Matriz Energética do Nordeste Transmontano: uma ferramenta contra as alterações climáticas*. Porto.
- Ferreira, M. C. C. (2012). *Consumo Doméstico de Biomassa Lenhosa e Emissões Atmosféricas na Cidade de Bragança*. Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Bragança.
- França, A. F. R. T., & Caseiro, L. P. V. da C. (2007). *Cogeração e Trigerção*. Coimbra. Retrieved from <http://www.marioloureiro.net/tecnica/co-trigeracao/Trigeracao.pdf>
- Friedrich, U. (BMW). (2007). Converting steam-based district heating systems to hot water, 1–4.
- Google. (2017). Google Earth. Retrieved May 24, 2017, from https://www.google.com/earth/?_ga=2.110514310.2016752156.1495629549-1759912799.1495629549
- Goulart, S. V. G. (1993). *Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis*. Universidade Federal de Santa Catarina. Retrieved from http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Solange_Goulart.pdf
- Haga, N., Kortela, V., & Ahnger, A. (2012). Smart Power Generation – District heating solutions. *WARTSILA*, 24.
- Hall, D. O. (1997). Biomass energy in industrialised countries—a view of the future.

- Forest Ecology and Management*, 91(1), 17–45. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03883-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03883-2)
- ICNF. (2017). Dia Internacional das Florestas | 21 março — ICNF. Retrieved June 27, 2017, from <http://www.icnf.pt/portal/icnf/noticias/eventos/dia-internacional-florestas>
- IEA. (2016). *World Energy Outlook 2016* (2016th ed.). France: International Energy Agency.
- Klass, D. L. (1998). *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals* (1st ed.). EUA: Academic Press.
- Kuitto, P.-J. (2009). *SECTOR HANDBOOK DISTRICT HEATING*. Finlandia.
- Kuitto, P.-J. (2011). *Sector handbook of Working Group on District Heating. Cross Border Bioenergy*. Finland.
- Lora, E. E. S., & Venturini, O. J. (2012). Gaseificação e Pirólise para a Conversão da Biomassa em Eletricidade e Biocombustíveis. In *Biocombustíveis* (1st ed., p. 1200). Interciência. Retrieved from <http://www.nest.unifei.edu.br/english/pags/downloads/files/Biocombustiveis-Cap06.pdf>
- Novakovic, V. (2014). *Biomass combined heat and power (CHP) for electricity and district heating*. Norwegian University of Science and Technology.
- Nunes, L. J. R. (2015). *A Utilização de Biomassa como Alternativa Energética para a Sustentabilidade e Competitividade da Indústria Portuguesa*. Universidade da Beira Interior.
- Ogata, B. H. (2013). *Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias. Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Paulo.
- Ouyang, Y., Xu, D., Leininger, T. D., & Zhang, N. (2016). A system dynamic model to estimate hydrological processes and water use in a eucalypt plantation. *Ecological Engineering*, 86, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.11.008>
- Overend, R. P. (2004). *Direct Combustion of Biomass*. Colorado. Retrieved from <https://www.eolss.net/sample-chapters/C08/E3-08-01-04.pdf>
- Paniz, A. (2009). *Working Group 2 on Small scale heating systems Handbook*. Italia.
- Paro, A. de C. (2011). *Uma metodologia para gestão da eficiência energética de centrais de cogeração a biomassa: aplicação ao bagaço de cana*. Universidade de São Paulo.
- Pereira Jr, N., Couto, M. A. P. G., & Santa Anna, L. M. M. (2008). *Biomass of Lignocellulosic Composition for Fuel Ethanol Production Within the Context of Biorefinery* (2nd ed.). Rio de Janeiro: Brazilian National Library. Retrieved from <http://www.ladebio.org.br/download/series-em-biotecnologia-vol-ii-lignocellulosic-biomass.pdf>

- Phetteplace, G. (2013). *District Heating Guide*. Atlanta: ASHRAE.
- Pimentel, T. P. da C. (2015). *District Heating Systems: Case Study Development Using Modelica*. Universidade de Lisboa.
- Pinto, L. N. (2006). *Conversão à baixa temperatura de Blend de Resíduos Industriais*. Universidade Federal Fluminense. Retrieved from http://www.bddt.ndc.uff.br/tde_arquivos/13/TDE-2007-03-23T135840Z-699/Retido/Leonar.pdf
- Rabaçal, M. (2010). Influência das características do combustível no desempenho energético e ambiental de caldeiras domésticas, 35–37. Retrieved from <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/2589869386403/dissertacao.pdf>
- Rendeiro, G., Fernandes, M., Nogueira, M., César De, A., Brasil, M., Onofre De, D., ... Energéticas Para A Amazônia, S. (2008). *Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida* (1st ed.). Brasília. Retrieved from [http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/863/2/combustão e gasificação de biomassa sólida.pdf](http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/863/2/combustão%20e%20gasificação%20de%20biomassa%20sólida.pdf)
- RETScreen. (2004). Biomass Heating Project Analysis. In *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook* (p. 10). Canada: Natural Resources Canada.
- RETScreen. (2005). *Clean Energy Project Analyses: RETScreen Engineering e Cases* (3rd ed.). Canada: Natural Resources Canada. Retrieved from http://thermophysics.ru/pdf_doc/Textbook.pdf
- RETScreen. (2017). RETScreen | Natural Resources Canada. Retrieved May 22, 2017, from <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>
- Rezaie, B., & Rosen, M. A. (2012). District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements. *Applied Energy*, 93, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.020>
- Rocha, J. D., Pérez, J. M. M., & Cortez, L. A. B. (2004). Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa, 22.
- Rosa, M. F. (2005). Situação Actual dos Biocombustíveis e Perspectivas Futuras. *Gazeta de Física*. Retrieved from http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29_1-2/vol29_1_2_Art07.pdf
- Sá, A. J. da F. e. (2009). *Caracterização da Recolha de Matéria-Prima para a Produção de Pellets*. Universidade de Aveiro. Retrieved from <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/2485/1/2009001080.pdf>
- Saiote, R. (2012). *Estudo da pirólise catalítica de resíduos plásticos*. Universidade de Lisboa.
- Salústio, J. M. C. (2009). *Análise da viabilidade de serviços ESCO com base em soluções de aquecimento a Pellets*. Universidade do Porto. Retrieved from <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/59648>
- Santos, F. B. dos, & Novo, L. M. A. (2008). *Fundamentos Teóricos Relacionados Á*

- Cogeração e o Exemplo da Central de Cogeração Infoglobo*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Retrieved from <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001201.pdf>
- Schaefer, V. (2001). *Turning Wood into Power, Heat and Chill*. Pfaffenhofen. Retrieved from <http://warmteenkoude.com/assets/Uploads/munchen10-Bio-CHP-Pfaffenhofen-Warmtenetwerk.pdf>
- Silva, C. S. L., & Mendonça, J. P. L. (2003). *Produção e Distribuição Centralizada de Energia Térmica e Cogeração*. Universidade de Coimbra. Retrieved from http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/_folders/GE_02_03_trab_aluno_pdf/7_DE-CHP.pdf
- Simões, A. C. da C. F., Caridade, C. S. V., & Costa, P. M. P. A. da. (2005). *Trigeração*. Coimbra. Retrieved from http://lge.deec.uc.pt/ensino/gee/trabalhos_pesquisa/2004_2005/trigeracao/trigeracao.PDF
- Sipilä, K., Pursiheimo, E., Savola, T., Fogelholm, C. J., Keppo, I., & Ahtila, P. (2005). Small-scale biomass CHP plant and district heating. *VTT Tiedotteita - Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus*, (2301), 3–129.
- Sipilä, K., Ranne, A., & Koljonen, T. (2000). *Modular district heating system Modis*. (L. Ukskoski, Ed.), *Espoo 2000*. Finland: Technical Research Centre of Finland.
- Skagestad, B., & Mildenstein, P. (2002). *District Heating and Cooling Connection Handbook*. Canada: International Energy Agency. Retrieved from http://dedc.dk/sites/default/files/programme_of_research_development_and_demonstration_on_district_heating_and_cooling.pdf
- Skok, J., & Karl, U. (2013). *Smart district heating and cooling. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.01094-0>
- Soares, T. S., Carneiro, A. de C. O., Gonçalves, E. de O., & Lelles, J. G. de. (2006, August). *Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia*, 9. Retrieved from https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1_000gapwcawjw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf
- Teixeira, J. D. F. (2011). *Dimensionamento de uma lareira com recuperador de calor*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Teixeira, L. M. de A. (2009). *Opções de utilização da biomassa florestal no contexto energético de Portugal*. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto.
- Thorsen, J. E. (2012). *District Heating Application Handbook* (1 No. 1). Denmark.
- Vallios, I., Tsoutsos, T., & Papadakis, G. (2009). Design of biomass district heating systems. *Biomass and Bioenergy*, 33(4), 659–678. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.10.009>
- Vieira, A. C. (2012). *Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Retrieved from http://portalpos.unioeste.br/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Ana_C_Vieira.pdf

- Wade, D. W. (1995). District Heating Conversion from Steam to Hot Water at the Savannah Regional Hospital. In *International District Energy Association*. Indianapolis. Retrieved from <http://www.rdaeng.com/PDF/SAVAN.PDF>
- Woods, P., & Overgaard, J. (2016). Historical development of district heating and characteristics of a modern district heating system. In R. Wiltshire (Ed.), *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems* (pp. 319–337). Reino Unido: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00015-X>
- Zhivov, A. M., Vavrin, J. L., Woody, A., Fournier, D., Richter, S., Droste, D., ... Kohonen, R. (2006). *Evaluation of European District Heating Systems for Application to Army Installations in the United States Construction Engineering*. Washington.

ANEXO I – Apresentação do RETScreen

Informação sobre o projeto [Veja banco de Dados do projeto](#)

Nome do Projeto: Aquecimento ESA
 Localização do Projeto: Bragança - Portugal
 Preparado para: IPB
 Preparado por: Paula Remor
 Tipo de projeto: Produção de calor
 Tecnologia: Caldeira
 Tipo de análise: Método 2
 Poder calorífico de referência: Poder calorífico superior (PCS)
 Ver parâmetros: ☐

Condições de Referência do site [Selecionar local de dados climáticos](#)

Localização dos dados climáticos: Bragança

Menu de Navegação: Iniciar | Carga e Rede | Modelo Energético | Análise de Custos | Análise de Emissões | Análise Financeira | Análise de Risco ..

Figura 10 - Folha de cálculo Iniciar do RETScreen

Projeto do Sistema de Aquecimento				
Projeto do Sistema de Aquecimento		Unidade		
Sistema de Aquecimento para caso de referência		Vários Prédios - aquecimento ambiente		
Ver nota técnica sobre projeto da rede de aquecimento		Condomínios		
Área de piso aquecido por condomínio	m²	41.709	1	2
Número de prédios no condomínio	prédio	7	3	4
Tipo de Combustível			1	1
Eficiência Sazonal	%	-	Combustível definido pelo usuário	Combustível definido pelo usuário
Cálculo carga p/ aquecimento			65%	65%
Carga de aquecimento para condomínio	W/m²	-	45	48
Demanda base calor p/ rede água quente	%	0%	45	40
Demanda total p/ aquecimento	MWh	2.343	762	447
Carga total p/ aquecimento de ponta	kW	1.910	621	364
Consumo de combustível - unitário		-	kg	kg
Consumo de combustível - anual		-	248.273	145.529
Preço combustível - unidade		-	\$/kg	\$/kg
Preço do combustível		-	0,170	0,170
Custo do combustível	\$	129.749	\$ 42.206	\$ 24.740
Ações de eficiência energética do caso proposto			\$ 37.405	\$ 5.042
Ações de eficiência energética no uso final	%	0%	0%	0%
Carga líquida de aquecimento de ponta	kW	1.910	621	364
Demanda líquida de aquecimento	MWh	2.343	762	447

Figura 11 – Folha de cálculo Carga e Rede com as características dos edifícios

Sistema de aquecimento do caso proposto							
Seleção do Sistema	Carga Base do Sistema						
Carga de base do Sistema de Aquecimento	Caldeira						
Tecnologia	Combustível único						
Método-seleção de combustível	Combustível definido pelo usuário						
Tipo de Combustível	GJ/kg						
Preço do combustível	0,170						
Completar planilha Ferramentas							
Ver banco de dados de produtos							
Caldeira							
Capacidade	kW	3.805,0	199,2%				
Calor fornecido	MWh	2.343	100,0%				
Fabricante							
Modelo							
Eficiência Sazonal	%	65%					
Tipo de Caldeira	Água quente						
Combustível necessário	GJ/h	21,1					
Características do caso proposto		Unidade	Estimar	%	Gráfico do Sistema		
Aquecimento							
Carga de base do Sistema de Aquecimento			Caldeira				
Tecnologia			Caldeira				
Capacidade		kW	3.805,0	199,2%			
Calor fornecido		MWh	2.343	100,0%			
Carga de ponta do sistema de Aquecimento			Não necessário				
Tecnologia							
Sistema de Aquecimento de back-up (opcional)							
Tecnologia							
Capacidade		kW					
Sumário do caso proposto		Tipo de Combustível		Consumo de combustível - unitário	Consumo de combustível	Capacidade (kW)	Energia Fornecida (MWh)
Aquecimento		Combustível definido pelo usuário		kg	725,066	3.805	2.343
Carga de base						Total	3.805
							2.343

Figura 12 – Folha de cálculo Modelo Energético com a caracterização do aquecimento dos edifícios

Modelo Energético RETScreen - Projeto de produção de calor e eletricidade			
Sistema de eletricidade do caso proposto			
Seleção do Sistema	Carga Base do Sistema		
Carga de base do sistema de eletricidade	Turbina à gas		
Tecnologia			
Disponibilidade	%	95,0%	8.322 h
Método-seleção de combustível	Combustível único		
Tipo de Combustível	Combustível definido pelo usuário		
Preço do combustível	\$/kg	0,170	
Turbina à gas			
Potência elétrica	kW	300	119,0%
Capac. Mínima	%	40,0%	
Elettricidade fornecida à carga	MWh	944	49,2%
Elettricidade exportada p/ rede	MWh	128	
Fabricante			
Modelo			
Preço do calor	kJ/kWh	11.000	
Taxa de recuperação de calor	%	75,0%	
Combustível necessário	GJ/h	3,3	
Capacidade térmica	kW	462,5	24,2%

Figura 13 – Folha de cálculo Modelo Energético para um cenário de cogeração (características da geração de eletricidade)

Análise da Redução das Emissões RETScreen - Projeto do Sistema de Aquecimento							
Análise de Emissões							
<input type="radio"/> Método 1 <input checked="" type="radio"/> Método 2 <input type="radio"/> Método 3				Potencial de Aquecimento global dos GEE 25 tons CO ₂ = 1 ton CH ₄ (IPCC 2007) 298 tons CO ₂ = 1 ton N ₂ O (IPCC 2007)			
Sumário dos GEE do caso de referência(Baseline)							
Tipo de Combustível	Mix do combustível %	Fator de emissão de CO ₂ kg/GJ	Fator de emissão de CH ₄ kg/GJ	Fator de emissão de N ₂ O kg/GJ	Consumo de combustível MWh	Fator de emissão de GEE tCO ₂ /MWh	Emissão de GEE tCO ₂
Combustível definido pelo usuário	100,0%	0,0	0,0299	0,0037	3.604	0,007	24,0
Total	100,0%	0,0	0,0299	0,0037	3.604	0,007	24,0
Sumário GEE do caso proposto (Projeto do Sistema de Aquecimento)							
Tipo de Combustível	Mix do combustível %	Fator de emissão de CO ₂ kg/GJ	Fator de emissão de CH ₄ kg/GJ	Fator de emissão de N ₂ O kg/GJ	Consumo de combustível MWh	Fator de emissão de GEE tCO ₂ /MWh	Emissão de GEE tCO ₂
Combustível definido pelo usuário	100,0%	0,0	0,0299	0,0037	3.424	0,007	22,8
Total	100,0%	0,0	0,0299	0,0037	3.424	0,007	22,8
Sumário da redução de emissões dos GEE							

Figura 14 – Folha de cálculo Análise de Emissões